

**RONALDO MOYLE BAÊTA**

**CARATERIZAÇÃO PETROGRÁFICA, FACIOLÓGICA E  
TECNOLÓGICA DAS ROCHAS ORNAMENTAIS DO COMPLEXO  
ALCALINO DE TUNAS/PR**

Dissertação apresentada como requisito parcial  
à obtenção do grau de Mestre em Geologia,  
Curso de Pós-Graduação em Geologia, área de  
concentração em Geologia Exploratória, Setor  
de Ciências da Terra, Universidade Federal do  
Paraná.

Orientadora: Profa. Dra. Eleonora Maria Gouvêa  
Vasconcellos

**CURITIBA  
2004**

Baêta, Ronaldo Moyle

Caracterização petrográfica, faciológica e tecnológica das rochas ornamentais do Complexo Alcalino de Tunas/PR / Ronaldo Moyle  
Baêta. - Curitiba, 2004.

x, 160 f. : il.

Orientador: Profa. Dra. Eleonora Maria Gouvêa Vasconcellos.

Dissertação (Mestrado) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Inclui Bibliografia

1. Rochas ornamentais. 2. Sienitos. I. Título. II. Vasconcellos, Eleonora Maria Gouvêa. III. Universidade Federal do Paraná.

CDD 553.5

Dedico esse trabalho a  
minha mãe, Eliza Moyle  
Baêta, por tudo o que ela  
representa em minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

A realização e a conclusão desse trabalho só foram possíveis graças ao apoio e estímulo de muitas pessoas, que foram somando informações, conhecimentos e incentivo, ao longo dessa jornada. A todas, a minha eterna gratidão.

Meus sinceros agradecimentos:

- A minha orientadora, Profa. Dra Eleonora Maria Gouvêa Vasconcellos, pela oportunidade e honra em me acompanhar nesse trabalho, além da confiança, paciência e incentivo, tendo contribuído no meu crescimento acadêmico, técnico e profissional;
- Aos meus co-orientadores Prof. Dr. Elvo Fassbinder e Prof. Dr. Nelson Chodur,
- Aos demais professores do Curso de Geologia da UFPR, bem como aos funcionários do Departamento de Geologia , pelo apoio dado,
- Ao Prof. Dr. Antônio M. Rebelo pela orientação nas medidas gamaespectométricas e ao Prof. Dr. Francisco Ferreira pelo empréstimo do aparelho;
- A Marmoraria Água Verde Ltda, pelo grande apoio e a oportunidade de desenvolver esse trabalho em suas dependências;
- A SEPAMAR – Serralheria Paranaense de Mármore e Granitos Ltda, a MICA –Mineração Capuava Ltda , e a Paraná Granitos Ltda, pela troca de informações e pelo interesse no trabalho;
- A Michelangelo Mármore e Granitos S.A, pelos dados gentilmente fornecidos;
- A Universidade Federal Paulista – Unesp – Campus Rio Claro, nas pessoas dos professores Dr Elias Carneiro Daitx e Dr. Antônio Carlos Arthur, pelo apoio na realização dos ensaios de Caracterização Tecnológica dos sienitos;
- Ao técnico do Laboratório de Rochas Ornamentais do Departamento de Geologia da UNESP, Adilson Rossini pelo acompanhamento, paciência e profissionalismo na realização dos ensaios tecnológicos;



- A aluna do curso de geologia da UFPR, Kelita Lopes, pelo grande apoio na descrição das lâminas;
- A toda equipe de funcionários do Laboratório de Análises de Minerais e Rochas - LAMIR do Departamento de Geologia da UFPR, pela realização das análises geoquímicas
- Ao povo do município de Tunas do Paraná, pela generosa acolhida;
- A todos os companheiros da pós graduação e da universidade, pela motivação ao longo do curso e da convivência;
- Aos amigos da vida, de longe ou de perto, e de todos aqueles que nos querem bem. Em especial, a Sílvia pela paciência e conselhos nas horas difíceis, a Beatriz, Malu, Carol e Marcinho e aos amigos do budismo, pelo incentivo nos momentos de desânimo.

“Quando nada parece ajudar, eu vou e olho o cortador de pedras martelando sua rocha, talvez cem vezes sem que nem uma só rachadura apareça. No entanto, na centésima primeira martelada, a pedra se abre em duas e eu sei que não foi aquela a que conseguiu, mas todas as que vieram antes.”

**Jacob Riis**

## SUMÁRIO

Índice de Figuras.....	III
Índice de Fotografias.....	V
Índice de Quadros.....	XVII
Índice de Tabelas.....	XVIII
Resumo.....	IX
Abstract.....	X
1 – INTRODUÇÃO.....	1
2 – LOCALIZAÇÃO.....	3
3 - OBJETIVO.....	5
4 - ESTADO DA ARTE (HISTÓRICO, USO E APLICAÇÕES).....	6
4.1 – A Lavra dos sienitos ornamentais.....	11
4.2 – O Beneficiamento das rochas ornamentais.....	14
4.3 – Aspectos comerciais do Sienito Tunas.....	24
5 -MÉTODOS E MATERIAIS DE TRABALHO.....	27
5.1 - Pesquisa e revisão bibliográfica.....	27
5.2 - Tratamentos digitais de dados topográficos e geológicos.....	28
5.3 – Trabalhos de Campo.....	28
5.4 – Amostragem.....	29
5.5 - Estudos laboratoriais mineralógicos, petrográficos, e geoquímicos.....	30
5.6 - Elaboração de Mapa Faciológico.....	31
5.7 - Ensaio Tecnológicos.....	31
5.8 – Medidas gamaespectrométricas das fácies petrográficas.....	33
5.9 - Integração final dos dados e confecção da dissertação de mestrado.....	33
6- CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	34
6.1 – O Magmatismo mesozóico na Plataforma Sul-Americana.....	34
6.2 - Geologia Regional.....	37
6.2.1 – Grupo Setuva.....	38
6.2.2 – Grupo Acungui.....	39
7 – GEOLOGIA LOCAL.....	43
7.1 – Trabalhos Anteriores.....	43
7.2 - O Complexo Alcalino de Tunas.....	46
7.2.1- Rochas do Complexo.....	50
7.2.1.1 – Rochas alcalinas.....	50
7.2.1.1.1 - Sienitos e Sienitos Alcalinos.....	50
7.2.1.1.2 - Monzogabros e Gabros.....	52
7.2.1.1.3 - Monzodioritos e dioritos.....	53
7.2.1.1.4 – Monzonitos.....	55
7.2.1.1.5 - Diques Alcalinos.....	56
7.2.1.1.5.1 – Traquitos.....	56
7.2.1.1.5.2 – Microsienitos.....	57
7.2.1.1.5.3 – Bostonitos.....	58
7.2.1.1.6 – Pegmatóides.....	58
7.2.1.1.7 - Cataclasitos e agmatitos.....	60
7.2.1.2 - Brechas Vulcânicas.....	60

7.3 – Formação do complexo.....	66
<b>8 – APECTOS FACIOLÓGICOS DOS SIENITOS ORNAMENTAIS DE TUNAS.....</b>	<b>68</b>
8.1- Metodologia do Mapeamento.....	68
8.2 – Divisão Faciológica.....	70
8.3.- Fácies Verde Tunas.....	71
8.3.1 – Verde Tunas Light.....	73
8.3.2 – Verde Floresta.....	76
8.3.3 – Verde Paraná.....	77
8.3.4 – Verde Tunas.....	78
8.3.5 – Verde Leopardo.....	85
8.3.6 - Jade Cristal.....	83
8.4 - Fácies Verde Mar.....	85
8.4.1 - Verde Mar.....	88
8.4.2 - Prata Mar.....	89
8.4.3 - Prata (Moonlight).....	91
8.5 - Fácies Boreal.....	92
8.5.1 -Verde Boreal e Prata Boreal.....	95
8.5.2 –Damasco.....	97
8.5.3 - Tunas White.....	99
8.6 -Fácies pegmatóide.....	100
<b>9 – ENSAIOS GEOQUÍMICOS.....</b>	<b>103</b>
<b>10 – CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA.....</b>	<b>115</b>
10.1 –Descrição Metodológica dos Ensaios Tecnológicos.....	116
10.1.1 – Ensaio de Índice Físico de Rochas.....	117
10.1.2 – Ensaio de Determinação do Desgaste por Abrasão (Amsler).....	120
10.1.3 – Ensaio de Resistência ao Impacto de Corpo Duro.....	122
10.1.4 – Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial.....	124
10.1.5 – Ensaio de Determinação da Resistência à Flexão.....	125
10.1.5.1 - Flexão em 3 Pontos.....	126
10.1.5.2 – Flexão em 4 pontos.....	128
10.1.6 – Velocidade de Propagação de Pulso Ultra-sônico.....	129
10.2 – Discussão dos Resultados.....	132
<b>11 – MEDIÇÕES GAMAESPECTROMÉTRICAS NAS ROCHAS ORNAMENTAIS .....</b>	<b>141</b>
<b>12 – CONCLUSÃO.....</b>	<b>151</b>
<b>13 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>154</b>
<b>ANEXO.I.....</b>	<b>161</b>
<b>ANEXO II.....</b>	<b>163</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização do Complexo Alcalino de Tunas.....	4
Figura 2 – Mapa de localização dos processos minerais para sienito no Complexo.....	8
Figura 3 - Sequência fotográfica de correção de defeito em chapa de sienito cinza.....	21
Figura 4 – Distribuição das rochas alcalinas mesozóicas na região sul da Plataforma Sul-Americana.....	36
Figura 5 – Geologia do Escudo Paranaense.....	42
Figura 6 – Foto aérea do Complexo Alcalino de Tunas.....	36
Figura 7 – Mapa esquemático mostrando o posicionamento do Complexo Alcalino de Tunas em relação às Falhas da Lancinha e de Morro Agudo, bem como principais corpos graníticos associados.....	49
Figura 8 – Mapa Geológico do Complexo Alcalino de Tunas.....	51
Figura 9 – Fotomicrografia exibindo o contato entre a Labradorita e a Kaersutita em amostra de gabro do Arroio Barro Vermelho, sob luz polarizada.....	53
Figura 10 – Fotomicrografia exibindo contato entre plagioclásio e biotita em amostra de diorito sob luz natural.....	55
Figura 11 – Seqüência de formação das rochas do complexo de Tunas, com base nos dados de Gomes <i>et al</i> (1987).....	67
Figura 12 – Fotomicrografia exibindo cristais de richterita em Verde Leopardo (luz natural).....	82
Figura 13 – Fotomicrografia de egirina passando a riebequita com inclusão de apatita, em amostra de Jade Cristal (Luz natural).....	85
Figura 14 – Fotomicrografia de cristal de faialita oxidada passando a idingzita (luz natural).....	85
Figura 15 – Fotomicrografia de Prata Mar apresentando feldspato intensamente fraturado (Luz polarizada).....	91
Figura 16 – Fotomicrografia da variedade Damasco exibindo contato do sienito (à esquerda) com veio de traquito (à direita). Presença de feldspatos sericitizados. (luz polarizada).....	98
Figura 17 – Distribuição das rochas do Complexo Alcalino de Tunas no diagrama de Cox <i>et al.</i> (1979).....	106
Figura 18 – Diagrama de variação para SiO <sub>2</sub> versus álcalis total para as diferentes fácies do complexo alcalino de Tunas.....	107
Figura 19 – Diagrama Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> versus SiO <sub>2</sub> para as rochas de Tunas.....	108
Figura 20 – Diagrama Na <sub>2</sub> O versus SiO <sub>2</sub> para as rochas de Tunas.....	109
Figura 21 – Diagrama K <sub>2</sub> O versus SiO <sub>2</sub> para as rochas de Tunas.....	109
Figura 22 – Diagrama TiO <sub>2</sub> O versus SiO <sub>2</sub> para as rochas de Tunas.....	110
Figura 23 – Diagrama CaO versus SiO <sub>2</sub> para as rochas de Tunas.....	111
Figura 24 – Diagrama MgO versus SiO <sub>2</sub> para as rochas de Tunas.....	111
Figura 25 – Diagrama Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> versus SiO <sub>2</sub> para as rochas de Tunas.....	112
Figura 26– Diagrama P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> versus SiO <sub>2</sub> para as rochas de Tunas.....	112
Figura 27 - Comparação entre os Índices Físicos das Rochas de Tunas/PR.....	132

Figura 28 - Resultados do ensaio de desgaste de Amsler das rochas de Tunas/PR.....	135
Figura 29 - Resultados do ensaio de Resistência ao Impacto de Corpo Duro para as rochas de Tunas/PR.....	135
Figura 30 - Comparação da resistência à compressão uniaxial dos materiais de Tunas/PR.....	137
Figura 31 - Correlação entre a resistência a compressão a velocidade de propagação do pulso nas rochas de Tunas/PR.....	137
Figura 32 - Correlação entre a porosidade aparente e a velocidade de propagação do pulso nas rochas ornamentais de Tunas	138
Figura 33 - Correlação entre o módulo de ruptura e a velocidade de propagação do pulso nas rochas ornamentais de Tunas.	139
Figura 34 - Concentrações de urânio, tório e potássio nas rochas do Complexo Alcalino de Tunas/PR.....	148
Figura 35 - Correlação entre as concentrações de urânio e tório medidas em afloramentos de diferentes rochas do Complexo Alcalino de Tunas/PR.....	149
Figura 36 - Correlação entre as concentrações de urânio e potássio medidas em afloramentos de diferentes rochas do Complexo Alcalino de Tunas/PR.....	150
Figura 37 - Correlação entre as concentrações de tório e potássio medidas em afloramentos de diferentes rochas do Complexo Alcalino de Tunas/PR	150

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

Foto 1 - Antiga pedreira de Verde Tunas na estrada TunasAnta Gorda	7
Fotos 2a e 2b - Edifício Stella Maris . Prédio da década de 60 já revestido com Verde Tunas em Curitiba. Rua Tobias de Macedo, 69 – Centro.....	7
Foto 3a – Mausoléu revestido em Verde Tunas. Cemitério da Água Verde – Curitiba/PR.....	10
Foto 3b – Sepultura revestida em Verde Tunas. Cemitério da Água Verde. Curitiba/PR Foto 3c – Fachada de prédio revestida em Verde Tunas. Rua Dr. Muricy, centro Curitiba/PR.....	10
Foto 3 d- Escultura em Verde Tunas e base de mármore, do artista plástico Baku Inoue (2003).....	10
Foto 4 – Lavra de matação por corte com explosivo (pólvora de mina).....	12
Foto 5 – Recorte da fração desmontada por perfuração e encunhamento.....	12
Foto 6 – Operação de uma frente de lavra do sienito Tunas.....	13
Foto 7 – Lavra através do corte por fio diamantado.....	13
Foto 8 – Depósito de rejeito de frações descartadas das pedreiras de rochas ornamentais em Tunas/PR.....	14
Foto 9 – Tear de multilâminas com movimento pendular.....	15
Foto 10 – Talha-bloco multidisco serrando bloco de Verde Tunas.....	15
Foto 11 – Politriz automática de multicabeças que executa o levigamento e polimento de chapas.....	17
Foto 12 – Chapa de granito sendo flameada.....	18
Foto 13 – Cavidades nas chapas devido a minerais ferro magnesianos alterados.....	19
Foto 14 – Fratura aberta em superfície de chapa de Verde Mar para correção do problema via resinagem.....	20
Foto 15: Preenchimento da fratura com pedrisco da rocha.....	20
Foto 16 – Preenchimento de sulco feito na chapa com resina e pedrisco.....	21
Foto 17: Cavidades existentes nas chapas de <i>Sea Foam Green</i> .....	22
Foto 18- Preenchimento de cavidades com estuque em chapas de <i>Sea Foam Green</i> .....	23
Foto 19 – Detalhe das cavidades sendo preenchidas com pedaços de rocha e estuque.....	23
Foto 20: Chapa resinada sendo levada ao forno.....	24
Foto 21 – Rocha ornamental chinesa semelhante ao Verde Tunas (Ladrilho 30x30 cm).....	26
Foto 22 – Campanha de amostragem, com utilização de martetele Atlas Copco.....	29
Foto23 – Cristas definindo as estruturas circulares do Complexo Alcalino de Tunas.....	47

Foto 24 - Porção central do complexo na região do Rio Barro Vermelho.....	48
Foto 25 - Porção sul do complexo, onde se vê crista da segunda estrutura sub-vucânica.....	48
Foto 26 – Chapa de sienito exibindo veios de microsienito.....	50
Foto 27 – Amostra polida de monzodiorito (Escala 1:1). Os minerais pretos são biotita e piroxênios, enquanto que os brancos, são plagioclásios.....	54
Foto 28 – Frente de lavra de monzonito.....	55
Foto 29 – Dique de traquito cortando o sienito.....	57
Foto 30 – Ladrilho de sienito Verde Tunas cortado por microssienito	58
Foto 31 – Rocha pegmatóide contendo cavidades com cristais centimétricos de feldspato.....	59
Foto 32 - Rocha pegmatóide contendo cavidades preenchidas por turmalinas.....	59
Foto 33 – Afloramento de brecha vulcânica do Lajeado 3.....	62
Foto 34 – Amostra polida de brecha do Lajeado 3, comercialmente denominada de Andrômeda.....	63
Foto 35 – Amostra de brecha do Lajeado 4.....	64
Foto 36 - Amostra polida de brecha de contato denominada de Lajeado 5.....	64
Foto 37 – Afloramento de brecha na localidade do Rio Barro Vermelho.....	66
Foto 38 – Ladrilho de Verde Tunas Light .....	74
Foto 39 – Amostra polida de “Verde Jararaca” .....	75
Foto 40 – Amostra polida de “ <i>Ocean Green</i> ”.....	76
Foto 41 – Ladrilho de Verde Floresta .....	77
Foto 42 – Ladrilho de Verde Paraná .....	78
Foto 43 – Ladrilho de Verde Tunas Clássico .....	779
Foto 44 – Ladrilho de Verde Tunas Claro.....	80
Foto 45 – Chapa de Verde Tunas exibindo a complexidade de eventos a que o material esteve sujeito.....	81
Foto 46 – Ladrilho de Verde Leopardo .....	82
Foto 47 – Ladrilho de Jade Cristal .....	84
Foto 48 – Provável zona de falha que separa as variedades Verde Tunas e Verde Mar.....	86
Foto 49 – Ladrilho da variedade Verde Mar .....	88
Foto 50 : Ladrilho da variedade ornamental Jade Imperial.....	89
Foto 51 – Ladrilho da variedade Prata Mar .....	90
Foto 52 – Detalhe de chapa de Prata Mar exibindo concentração de máficos.....	90
Foto 53 – Ladrilho da variedade ornamental Prata .....	92
Foto 54 – Ladrilho de Verde Boreal Escuro .....	95
Foto 55 – Ladrilho de Verde Boreal .....	96
Foto 56 – Ladrilho de Prata Boreal.....	96
Foto 57 – Ladrilho da variedade ornamental Damasco .....	97
Foto 58 – Amostra polida da variedade Tunas White.....	99



Foto 59 – Detalhe de chapa de Sea Foam Green apresentando cavidades preenchidas por estuque.....	101
Foto 60 – Chapa de Sea Foam Green.....	101
Foto 61 – Ladrilho da variedade amarelada da fácies pegmatóide , denominada de Sea Foam Gold.....	102
Fotos 62a e 62b – Corpos de prova para ensaios de caracterização tecnológica.....	117
Foto 63a – Corpos de prova sendo retirados da estufa.....	120
Foto 63b – Saturação dos corpos de prova em bomba de vácuo.....	120
Foto 63c – Corpo de prova saturado sendo pesado.....	120
Foto 63d – Corpo de prova sendo pesado submerso.....	120
Foto 64 – Corpo de prova sendo medido para Ensaio de Desgaste de Amsler.....	121
Foto 65– Ensaio de Desgaste de Amsler.....	121
Foto 66 – Equipamento para ensaio de resistência ao impacto do corpo duro.....	123
Foto 67 – Corpo de prova sendo rompido.....	123
Foto 68 – Corpo de prova do Ensaio De Compressão Uniaxial.....	125
Foto 69 – Prensa hidráulica utilizada no ensaio.....	125
Foto 70 – Tensão sendo aplicada ao corpo de prova.....	125
Foto 71 – rompimento do corpo de prova.....	125
Foto 72 – Corpo de prova utilizado no ensaio de Tração nos 3 Pontos	127
Foto 73 – Corpo de prova submetido a tensão de carregamento.....	127
Foto 74 – Rompimento do corpo de prova em ensaio de resistência à flexão de três pontos.....	127
Foto 75 – Corpo de prova de ensaio de resistência a flexão em quatro pontos.....	129
Foto 76 – Corpo de prova submetido a esforço de carregamento.....	129
Foto 77 – Corpo de prova rompido.....	129
Foto 78 – Medida de velocidade de propagação do pulso ultrasônico em corpo de prova de 3 Pontos.....	131
Foto 79 – Medida de velocidade de pulso ultrasônico em corpo de prova de Compressão uniaxial.....	131
Foto 80 – Ladrilho de Prata Mar tingido.....	134
Foto 81 – Gamaespectômetro GS-512 Scintrex /Geofyzika.....	145

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Principais Rochas Explotadas e Comercializadas do Complexo de Tunas e empresas mineradoras.....	9
Quadro 2 – Empresas , Mercados e seus Produtos.....	9
Quadro 3 – Divisão Faciológica em função da coloração das rochas	71

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 – Preços sugeridos pelos exportadores para as rochas ornamentais de Tunas/PR.....</b>	<b>25</b>
<b>Tabela 2 – Mineralogia das rochas da fácies Verde Tunas.....</b>	<b>76</b>
<b>Tabela 3 – Composição mineralógica das rochas da fácies Verde Mar</b>	<b>87</b>
<b>Tabela 4 – Mineralogia das rochas da fácies Boreal.....</b>	<b>94</b>
<b>Tabela 5 – Composição química e composição normativa das rochas do Complexo Alcalino de Tunas.....</b>	<b>104</b>
<b>Tabela 6 - Determinação da mineralogia da fácies Verde Tunas por difratometria.....</b>	<b>114</b>
<b>Tabela 7 - Determinação da mineralogia da fácies Verde Mar por difratometria.....</b>	<b>114</b>
<b>Tabela 8 - Determinação da mineralogia da fácies Boreal por difratometria.....</b>	<b>114</b>
<b>Tabela 9 - Resumo dos índices físicos.....</b>	<b>119</b>
<b>Tabela 10: Resultados dos ensaios de Desgaste de Amsler.....</b>	<b>122</b>
<b>Tabela 11 - Resultados do ensaio de Resistência ao impacto do corpo duro.....</b>	<b>123</b>
<b>Tabela 12: Resultados dos ensaios de Resistência à Compressão Uniaxial.....</b>	<b>124</b>
<b>Tabela 13 - Resultados dos ensaios de resistência à flexão de três pontos para as rochas ornamentais de Tunas/PR.....</b>	<b>126</b>
<b>Tabela 14 - Resultados dos ensaios de Resistência à Flexão de quatro pontos para as rochas ornamentais de Tunas/PR.....</b>	<b>128</b>
<b>Tabela 15 - Velocidade de propagação do pulso ultra-sônico em corpos de prova de rochas ornamentais do complexo alcalino de Tunas/PR.....</b>	<b>130</b>
<b>Tabela 16 – Resumo dos resultados dos Índices Físicos e Parâmetros Mecânicos obtidos nos ensaios de caracterização tecnológica das rochas ornamentais do Complexo Alcalino de Tunas/PR.....</b>	<b>133</b>
<b>Tabela 17 – Medidas Gamaespectrométricas e cálculo do Índice de Concentração de atividade gama para as rochas de Tunas</b>	<b>147</b>

## RESUMO

Dentre as rochas ornamentais extraídas no Estado do Paraná, os sienitos de Tunas ocupam posição de destaque, sendo um dos principais materiais requeridos pelo mercado internacional. O complexo alcalino, de onde essas rochas são extraídas, apresenta grande variação litológica, sendo formado, além dos sienitos alcalinos, por monzogabros e gabros, monzodioritos e dioritos, diques de traquito, microssienito e bostonito, bem como brechas vulcânicas.

A variedade sienítica de cor verde é a mais conhecida e valorizada, pela sua beleza e raridade, mas ocorrem outras, igualmente interessantes. Uma das maiores dificuldades enfrentadas pelas empresas mineradoras que exploram o complexo, é a grande variabilidade de coloração e textura desses sienitos, dificultando a manutenção de um padrão comercial dos materiais extraídos, acarretando o surgimento de diversos nomes para materiais similares aos já estabelecidos no mercado.

Baseando-se nos semelhantes aspectos de coloração e textura dessas variedades sieníticas, realizou-se um mapeamento do complexo, que aliado a características petrográficas e geoquímicas das rochas ornamentais, identificou quatro fácies, identificadas por nomenclatura informal, coincidindo com os nomes comerciais mais comuns. Além disso foram realizados testes padronizados para a caracterização tecnológica de três das principais variedades sieníticas destinadas à exportação, e de uma variedade de brecha vulcânica encontrada no complexo, atestando suas qualidades para fins como rocha ornamental e de revestimento.

## **ABSTRACT**

Among the dimension stones extracted in Paraná State, the syenites for tunas have an important position, being one of the main material required by international market. The alkaline complex where these stones are extracted from, presents a great lithologic variety, formed not only by alkali syenites but also by monzogabbros and gabbros, monzodiorites and diorites, dikes of trachytes, microsyenites and bostonites, as well as volcanic breccias.

Although the green syenitic variety is the most valued and well known by its beauty and rarity, there are others equally interesting. The biggest problem found by mining companies that explore the complex, is the great texture and color variability of these syenites, that makes a difficult standardized commercial maintenance of the extracted material, resulting in several names for similar materials previously established in the dimension stones market.

Based in similar textures and color aspects of these syenitic varieties, a mapping was carried out, allied with geochemical and petrographical compositions of these ornamental stones, resulted in four facies, identified by informal nomenclature coinciding with common commercial names. Tests were done in order to level the technological characteristics of the three main syenitic varieties addressed to exportation, as well as a variety of volcanic breccia found in the complex, proving their qualities as ornamental and covered built stones.

## 1 – INTRODUÇÃO

O Estado do Paraná vem se firmando como um importante produtor e exportador de rochas ornamentais no Brasil, ocupando, atualmente, a terceira posição entre os estados produtores de mármore e a quinta posição entre os produtores de granitos (ABIROCHAS, 2001). Dentre as rochas explotadas e beneficiadas no Estado, os sienitos alcalinos de Tunas merecem especial destaque, por serem um dos principais produtos requeridos pelos compradores nacionais e internacionais de rochas processadas, comercializados, em sua maior parte, sob a forma de ladrilhos e chapas polidas.

O Complexo Alcalino de onde essas rochas são extraídas trata-se de um corpo plutônico de idade Mesozóica (60 a 110 Ma), de composição predominantemente sienítica, intrusivo em rochas metaígneas e metassedimentares pré-cambrianas do Grupo Açungui e do Grupo Setuva. É formado por cinco estruturas subvulcânicas anelares justapostas, alinhadas na direção NW-SE, cuja gênese está relacionada à reativação Wealdeniana da Plataforma Brasileira (Fuck, 1972).

Esse complexo alcalino apresenta grande variação litológica, sendo formado, além dos sienitos e sienitos alcalinos, por monzogabros e gabros, monzodioritos e dioritos, monzonitos, diques de traquito, microssienito e bostonito, veios pegmatóides (rochas portadoras de megacristais de feldspato alcalino), encontrados, principalmente, cortando variedades sieníticas, além de brechas vulcânicas formadas em estágios tardios, por processos de fluidização.

A lavra dos sienitos com fins ornamentais se processa, desde meados da década de 50, em pedreiras localizadas em flancos das estruturas subvulcânicas, onde existem as maiores exposições dessas rochas. A maior parte das pedreiras

ainda hoje executa a lavra através do corte de matacões, principalmente nas frentes das variedades de coloração verde. Recentemente, técnicas mais modernas, como o do corte por fio diamantado e por massa expansiva, começaram a ser utilizadas pelas empresas que atuam no complexo. Entre as dificuldades encontradas para a extração de blocos rochosos, dos materiais comercialmente estabelecidos, além da grande variação, tanto textural, quanto de coloração, soma-se o insuficiente conhecimento do comportamento estrutural e tectônico das rochas do complexo, acarretando um baixo aproveitamento (de 25 a 40%) do material lavrado e o conseqüente abandono de várias frentes de lavra já abertas. A grande variação de coloração, textura e estrutura apresentada por esses sienitos, numa mesma frente de extração, dificultam a manutenção de um padrão comercial, dando origem a diversos nomes fantasia para materiais semelhantes aos comercialmente aceitos, mas que diferem destes em aspectos ornamentais e composicionais.

Numa tentativa de se identificar diferentes fácies petrográficas para as rochas ornamentais existentes no complexo, empreendeu-se um trabalho de mapeamento buscando estabelecer uma divisão faciológica baseada em características de cor, textura e granulação dessas diferentes variedades ornamentais, aliados a aspectos petrográficos, geoquímicos e tecnológicos.

Além disso, foram feitas medições gamaespectrométricas de isótopos radioativos em diversos afloramentos do corpo plutônico, de forma a agregar maiores informações sobre as rochas do complexo.

## 2 - LOCALIZAÇÃO

O Complexo Alcalino de Tunas localiza-se no Primeiro Planalto Paranaense, na região leste do Paraná, e a noroeste do município de Tunas do Paraná. Dista cerca de 80 km de Curitiba, sendo cortado pela Estrada da Ribeira (BR-476) entre os quilômetros 80 e 86 (Fig.1). O acesso é feito a partir de Curitiba pela BR-476, seguindo em direção à cidade de Bocaiúva do Sul. Desta cidade, ainda pela BR-476, percorrem-se 36 km até a cidade de Tunas, de onde se pode atingir o complexo por três direções:

- tomando-se a estrada Tunas – Anta Gorda, percorre-se a porção leste do corpo;
- seguindo-se pela rodovia, em direção a Adrianópolis, atravessa-se a porção central do complexo, atingindo a sua extremidade norte,
- rumando-se em sentido a Cerro Azul, pela PR-340 percorre-se o contorno oeste do corpo.

No interior do complexo, as frentes de lavra e os afloramentos podem ser alcançados percorrendo-se a rodovia asfaltada, estradas secundárias não pavimentadas abertas pelas mineradoras e madeireiras da região, além trilhas e picadas abertas com a finalidade exploratória.

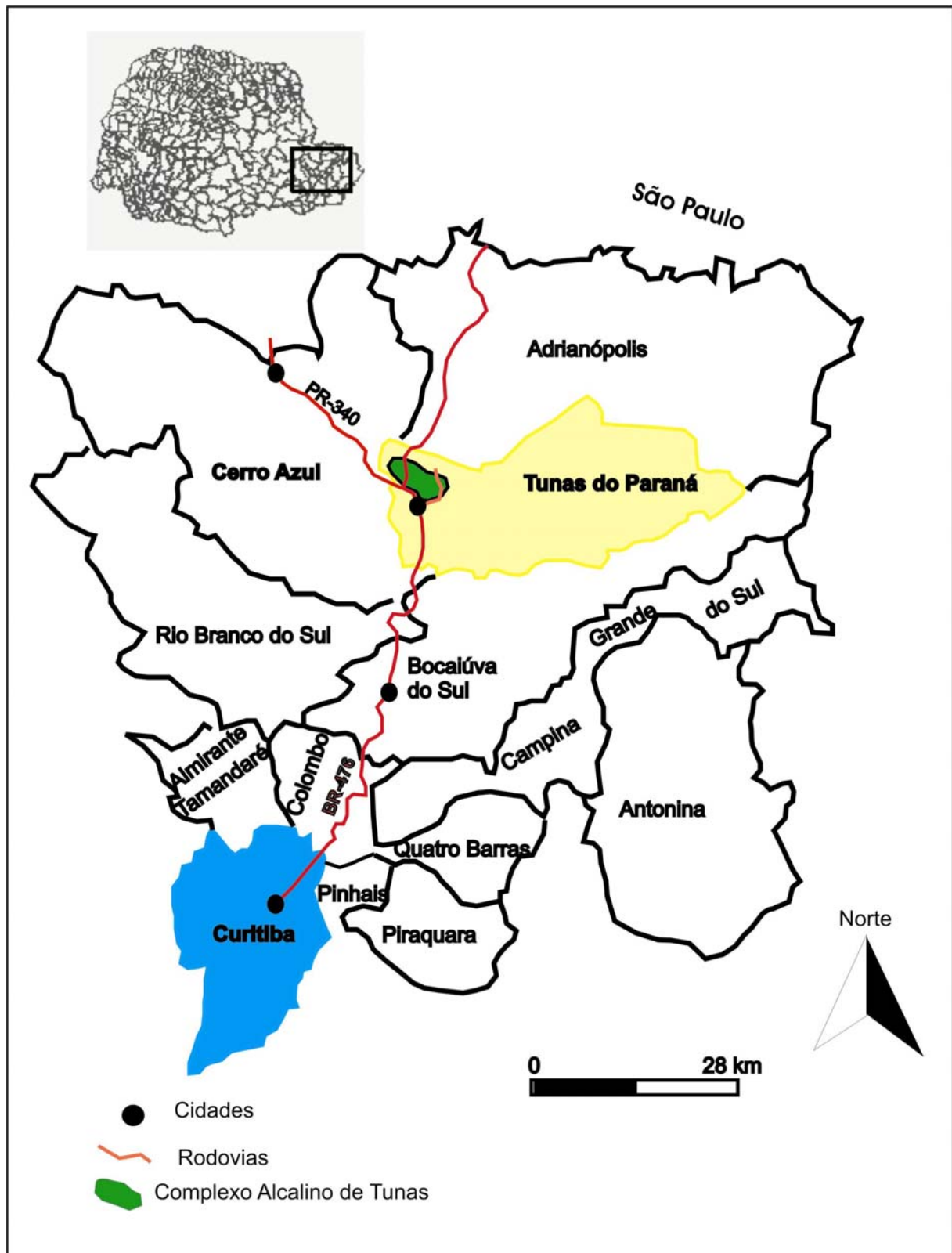


Figura 1 – Localização do Complexo Alcalino de Tunas



### **3 – OBJETIVOS**

O presente trabalho tem por objetivo principal a caracterização faciológica, petrográfica e tecnológica das rochas ornamentais do Complexo Alcalino de Tunas.

Para se atingir os objetivos propostos foi realizado um mapeamento faciológico das rochas com potencial para fins ornamentais do Complexo Alcalino de Tunas, aliado à uma caracterização petrográfica, bem como a determinação de índices físicos e parâmetros que constituem a caracterização tecnológica das principais rochas ornamentais explotadas e comercializadas pelas diversas empresas que atuam no complexo.

A análise petrográfica fornece um conjunto de informações fundamentais para a caracterização das rochas ornamentais, identificando a sua natureza ou tipo, permitindo a visualização de minerais alterados ou suscetíveis à alteração, minerais mais moles ou friáveis, ou com outras características que poderão comprometer o lustro, a estética e a durabilidade da rocha, além de auxiliar na interpretação dos dados obtidos no levantamento gamaespectrométrico.

O conhecimento das características tecnológicas de algumas rochas foi importante na avaliação prévia da qualidade das mesmas, fornecendo indicativos para a escolha da mais adequada finalidade a que se destinam: revestimentos horizontais ou verticais de exteriores e de interiores. A precisa caracterização tecnológica (mineralógica, física, química e mecânica) desses materiais pétreos mostrou-se fundamental para sua utilização correta, segura e econômica.

#### **4 - ESTADO DA ARTE (HISTÓRICO, USO E APLICAÇÕES).**

As rochas encontradas no Complexo Alcalino de Tunas despertaram a atenção e o interesse, desde a construção da antiga estrada que liga Curitiba a São Paulo – conhecida como Estrada da Ribeira. O povoado onde atualmente se encontra a cidade de Tunas, foi inicialmente denominado de “Pedra Preta”, em função das rochas de coloração escura ali encontradas e utilizadas na pavimentação da estrada, naquelas imediações.

O interesse pela utilização das rochas do complexo com fins ornamentais deu-se a partir de meados dos anos 50, quando a empresa FOMENTO DE MÁRMORES E GRANITOS LTDA adquiriu terras na localidade de Tuneiras, visando a exploração dos sienitos aflorantes, ao longo da estrada que liga Tunas a Anta Gorda (Foto1). Da pedreira ali aberta foram explorados os primeiros blocos de Verde Tunas.

Já no início da década de 60, começaram a surgir em Curitiba os primeiros prédios revestidos com o material denominado de “Granito Verde Tunas”, proveniente do complexo (Fotos 2a e 2b).

Na década de 70, os primeiros pedidos de pesquisa mineral para a substância granito ornamental, locados no complexo, foram protocolizados no Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, e novas empresas começaram a pesquisar a região.

Na década de 80, quatro empresas já disputavam áreas de pesquisa no contorno de todo o complexo, tendo sido abertas algumas frentes de lavra. Em meados dessa mesma década, o sienito Verde Tunas começou a ser exportado para os Estado Unidos em forma de chapas polidas e um novo material começou a ser lavrado e comercializado, o sienito Cinza/Verde Mar.



Foto 1 - Antiga pedreira de Verde Tunas na estrada Tunas - Anta Gorda.



Fotos 2a e 2b - Edifício Stella Maris . Prédio da década de 60 já revestido com Verde Tunas em Curitiba. Rua Tobias de Macedo, 69 – Centro.

Atualmente, seis empresas possuem áreas no complexo (Fig.2)., lavrando em nove minas, a maioria em atividade sazonal, cinco tipos de rochas ornamentais já estabelecidas no mercado (Quadro1), além de outras similares às existentes, cujos nomes variam em função de diferenças na coloração, textura e granulação dos cristais



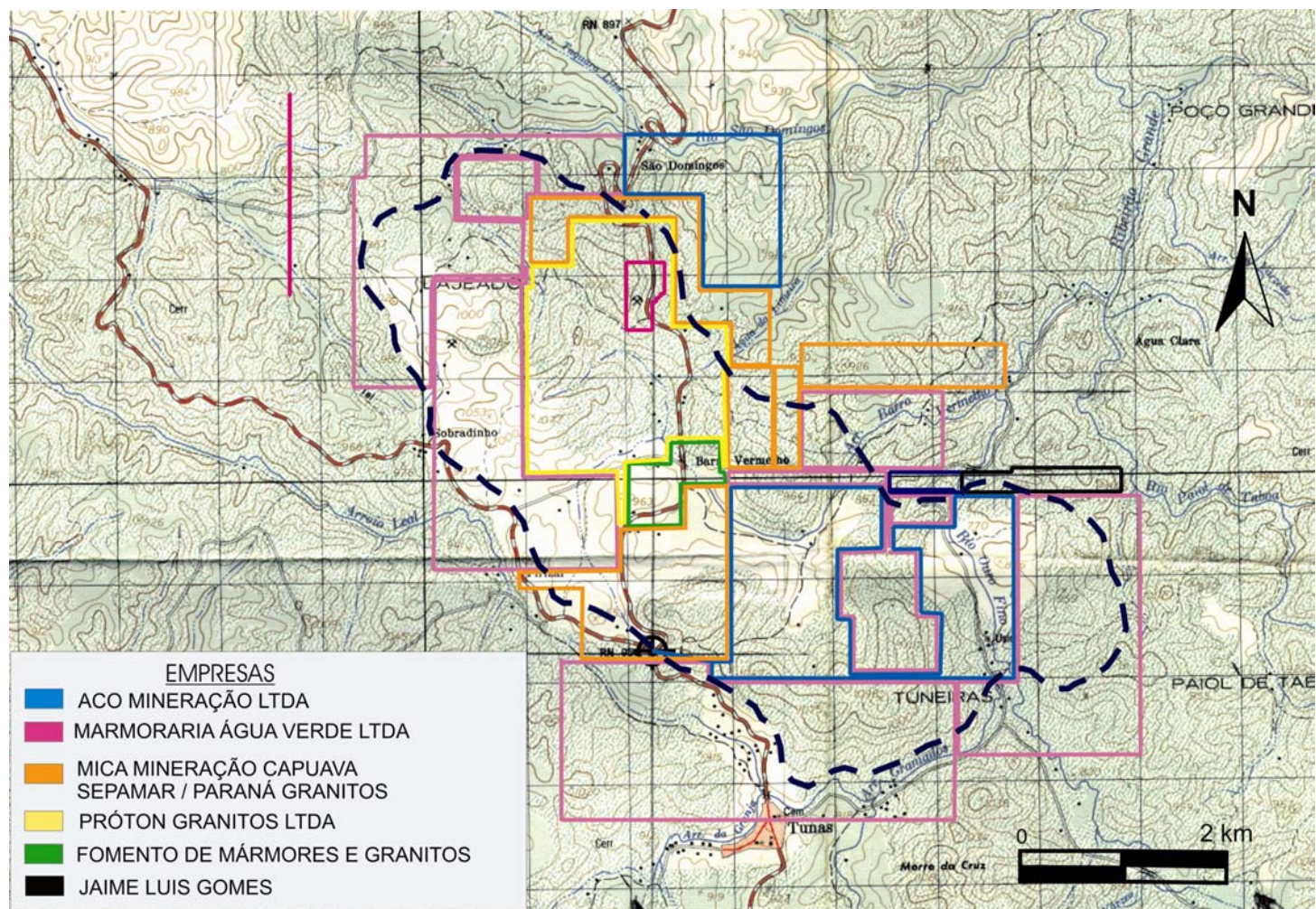


Figura 2 – Mapa de localização dos processos minerais para sienito no Complexo Alcalino de Tunas. Folha SG-22– X–B–IV–4 MI-2826/4 Tunas/PR

QUADRO 1 - Principais rochas explotadas e comercializadas do Complexo de Tunas e empresas mineradoras.

NOME COMERCIAL		EMPRESAS
1	Verde Tunas	Marmoraria Água Verde Ltda (MARVERDE) Mica – Mineração Capuava Ltda SEPAMAR-Serraria Paranaense de Mármore e Granitos Fomento de Mármore e Granitos (Indústrias BAU) ACO Mineração (Michelangelo Mármore e Granitos Ltda)
2	Verde/Cinza Mar	Marmoraria Água Verde Ltda (MARVERDE)
3	Verde Boreal	Marmoraria Água Verde Ltda (MARVERDE)
4	Sea Foam Green	Mica – Mineração Capuava Ltda Próton Granitos Ltda
5	Damasco	Marmoraria Água Verde Ltda (MARVERDE)

Das empresas que exploram o complexo, três exportam chapas polidas e ladrilhos calibrados, em sua maior parte para os Estados Unidos e Alemanha, e uma empresa vende blocos no mercado interno para outras empresas que os processam (Quadro 2).

QUADRO 2 - Empresas , mercados e seus produtos

Mineradora	Beneficiadora/ Exportadora	Mercados	Produtos acabados
Marmoraria Água Verde Ltda	MARVERDE	Externo Interno	Chapas polidas, ladrilhos
Mica - Mineração Capuava	Paraná Granitos Ltda SEPAMAR	Externo Interno	Chapas polidas, ladrilhos
ACO Mineração Ltda	Michelangelo Mármore e Granitos	Externo Interno	Chapas polidas, ladrilhos calibrados
Próton Granitos Ltda	Paraná Granitos Ltda	Externo	Chapas polidas
Fomento de Mármore e Granitos ( Industrias. BAU)	Indústrias BAU Terceiros	Interno	Capas polidas Blocos

As principais aplicações econômicas para as rochas ornamentais de Tunas, têm sido para revestimento em obras de construção civil, arte fúnebre, artefatos de cozinha, banheiro e de decoração, bem como móveis e esculturas



(Fotos 3a, 3b, 3c e 3 d).



Foto 3a – Mausoléu revestido em Verde Tunas. Cemitério da Água Verde – Curitiba/PR



Foto 3b – Sepultura revestida em Verde Tunas. Cemitério da Água Verde. Curitiba/PR



Foto 3c – Fachada de prédio revestida em Verde Tunas. Rua Dr. Muricy, centro Curitiba/PR



Foto 3 d- Escultura em Verde Tunas e base de mármore, do artista plástico **Baku Inoue** (2003).

#### 4.1 – A LAVRA DOS SIENITOS ORNAMENTAIS

A lavra dos sienitos de Tunas se processa, na maioria dos casos, de forma rudimentar, sendo que métodos de lavra mais modernos, como o corte com fio diamantado, não são utilizados por todas as empresas que exploram o complexo, em função dos altos custos gerados. De modo geral o material é desmontado por explosivo e recortado em forma de blocos através de perfuração e encunhamento (Fotos 4, 5 e 6). Entretanto, o que se percebe é que, apesar dos custos mais elevados na extração, a utilização do corte por fio diamantado oferece uma maior produtividade, desde que se tenha uma grande frente de trabalho e rocha pouco fraturada (Foto 7).

O custo médio de produção de um bloco na pedreira encontra-se na faixa de US\$100,00 o metro cúbico, sendo que os blocos são lavrados em volumes próximos a 5 m<sup>3</sup>. Entretanto, devido ao alto valor que esse material alcança, blocos menores, em torno de 1,5 m<sup>3</sup> acabam sendo aproveitados, em teares ou talha-blocos onde são serrados em chapas de espessuras padronizadas ou sob a forma de ladrilhos.

Dentre os problemas encontrados na lavra, soma-se a grande variação da coloração e textura dos materiais lavrados, o insuficiente conhecimento do comportamento estrutural e tectônico das rochas do complexo, o que faz com que ocorram perdas em torno de 70% nas pedreiras, acarretando num grande volume de rocha descartado em bota-foras, vindo a se transformar numa questão ambiental ainda há ser resolvida (Foto 8). Há vários casos em que a frente de lavra foi abandonada por estar muito fraturada, não possibilitando a exploração de blocos mínimos passíveis de serem aproveitados para a serragem em teares.



Foto 4 – Lavra de matacão por corte com explosivo (pólvora de mina).



Foto 5 – Recorte da fração desmontada por perfuração e encunhamento.





Foto 6 – Operação de uma frente de lavra do sienito Tunas.



Foto 7 - Lavra através do corte por fio diamantado.



Foto 8 – Depósito de rejeito de frações descartadas das pedreiras de rochas ornamentais em Tunas/PR.

Os defeitos encontrados nos blocos explotados em uma frente de lavra obrigam os mineradores a classificá-los como de 1<sup>a</sup> , 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> qualidade, sendo destinados a diferentes mercados consumidores. Existem ainda, nos blocos já lavrados, microfraturas que só são percebidas quando o mesmo é dividido em chapas, gerando com isso perdas em torno de 20 a 25% numa serrada.

#### 4.2 – O BENEFICIAMENTO DAS ROCHAS ORNAMENTAIS

A fase de industrialização das rochas ornamentais compreende o desdobramento do bloco extraído na pedreira e o seu beneficiamento. Das empresas que exploram o Complexo de Tunas, quatro possuem parque industrial localizados em Curitiba e região metropolitana, onde são industrializados os blocos.

O desdobramento se dá, em unidades chamadas de serrarias, pela serragem do bloco em máquinas denominadas “teares” (Foto 9). No caso das rochas de Tunas, a produtividade destes equipamentos apresenta um avanço médio em torno de 20 cm/24 horas.



Foto 9: Tear de multilâminas com movimento pendular.

Existem também equipamentos denominados de Talha-Blocos que executam o corte da rocha através de discos diamantados, adequados para a produção de ladrilhos padronizados. Atualmente apenas a Michelângelo Mármore e Granitos Ltda possui esse equipamento, sendo o mesmo do modelo multidisco (Foto 10), que destina-se a produção de tiras de granito com larguras específicas, determinadas pelas dimensões finais do produto e pelo diâmetro do disco de corte.



Foto 10 - Talha-bloco multidisco serrando bloco de Verde Tunas.



O beneficiamento (que também pode ser chamado de processo de transformação ou semi-transformação) consiste em quatro fases: levigamento, polimento, lustração e recorte das chapas. Além desses existem outros tipos de acabamento superficial das rochas denominados de jateamento, flameagem e o apicoamento. O beneficiamento é conduzido nas unidades denominadas marmorarias.

O levigamento consiste na retificação da superfície da chapa gerada no corte, seja em teares ou talha-blocos, deixando-a perfeitamente plana, porém ainda áspera. O polimento consiste em se retirar a aspereza da chapa, através do fechamento dos poros do material, deixando-a com superfície perfeitamente lisa, mas não brilhante. A lustração consiste em se deixar a superfície da chapa brilhante.

Todas essas operações, desde o levigamento até a lustração, são feitas em equipamentos denominados politrizes, também conhecidas como polideiras (Foto 11). Nestas operações são utilizados rebolos, nos quais estão imbutidos abrasivos com granulação variável, que promovem o desbaste e polimento das chapas. Nas empresas que industrializam os sienitos de Tunas, todas as polideiras são automáticas, de multicabeças com esteira transportadora, onde as chapas são submetidas à ação abrasiva de rebolos de granulação seqüencial, do maior para o menor, no sentido de movimentação da chapa, de modo que, ao sair no final da esteira, o material esteja polido.

Além do levigamento, polimento e lustração, existem outros tratamentos passíveis de serem aplicados nas rochas ornamentais: o apicoamento e a flamagem. Esses dois tipos de acabamento superficial procuram explorar as diversas características de aparência das rochas ornamentais, através do tratamento do material com choque mecânico no caso do primeiro e com choque térmico no segundo.



Foto 11 – Politriz automática de multicabeças que executa o levigamento e polimento de chapas.

A flamagem (Foto 12 ) é obtida através de um processo de choque térmico a que o material é submetido, mediante uma chama de alta temperatura, dirigida a sua superfície por um maçarico a gás, seguida instantaneamente de um resfriamento com água. Este choque térmico provoca uma espécie de descamação e vitrificação da superfície, conferindo-lhe um aspecto muito particular. No caso dos sienitos de Tunas, principalmente as variedades de coloração verde, esse tipo de tratamento não é aplicado, uma vez constatado que o aquecimento provoca o escurecimento do material, passando de verde para uma tonalidade marrom. Segundo Di Giorgio (2003) esta mudança de cor testemunharia a passagem do ferro, que dá cor ao feldspato, do estado reduzido para o estado oxidado.

Outros tipos de acabamento são aplicados especificamente às rochas ornamentais do Complexo de Tunas, muitos dos quais adotados após experimentações e comparações dos resultados obtidos, sempre buscando uma melhoria das qualidades ornamentais e um melhor aproveitamento dessas rochas, através da eliminação de vários defeitos que cada variedade apresenta.



Foto 12 – Chapa de granito sendo flameada.

O mais comum desses tratamentos, aplicáveis a praticamente todas as chapas das rochas extraídas no complexo, consiste no preenchimento de pequenas cavidades, nelas naturalmente encontradas, por resina incolor, que ao ser polida, se confunde com um mineral da rocha.

Por serem muito ricas em minerais ferro-magnesianos, as variedades ornamentais Verde Tunas e Verde Mar, apresentam pequenos pontos de alteração ou cavidades, que devem ser eliminados de forma a não prejudicarem a beleza do material. Assim, esses pontos são demarcados nas chapas, onde, em seguida, serão abertos orifícios com uma furadeira elétrica, de forma a eliminar o mineral alterado ou as superfícies rugosas das cavidades, que receberão um posterior preenchimento com resina, antes do polimento (Foto 13).

Muitas vezes, estando a chapa somente levigada, detectam-se pequenas fraturas em sua superfície, ou até mesmo pequenos veios passíveis de alteração e ruptura. Visando o aproveitamento da chapa, essas fraturas serão abertas através de uma serra do tipo maquina, e os sulcos são preenchidos com resina, seguido de um posterior polimento. Se a chapa é de Verde Tunas com venulações,

normalmente os sulcos são preenchidos por pedriscos do mesmo material e cimentados por resina, passando a chapa posteriormente ao polimento, resultando ao final um veio artificial muito semelhante ao natural, existente na rocha. Cavidades existentes nas chapas, também são tratadas pela mesma técnica (Fotos 14, 15 e 16).



Foto 13 – Cavidades nas chapas devido a minerais ferro magnesianos alterados.





Foto 14 - Fratura aberta em superfície de chapa de Verde Mar para correção do problema via resinagem.



Foto 15: Preenchimento da fratura com pedrisco da rocha.





Foto 16 – Preenchimento de sulco feito na chapa com resina e pedrisco.

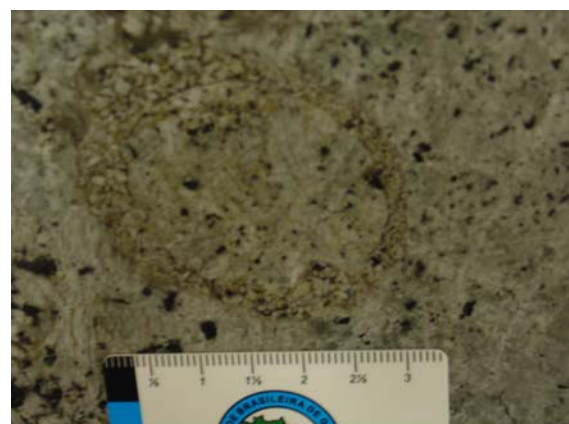


Figura 3 - Sequência fotográfica de correção de defeito em chapa de sienito cinza

Além disso, utilizam-se outras técnicas para realçar a cor e o brilho dessas rochas ornamentais, tais como óleo queimado para escurecer as partes mais claras das variedades verdes, ou cera com corante preto para ressaltar o brilho de rochas de coloração cinza, sendo as mesmas posteriormente polidas e lustradas, proporcionando assim uma melhor aparência ao material.

No caso específico do material *Sea Foam Green*, sua comercialização está obrigatoriamente condicionada a um tratamento, uma vez que o material apresenta uma série de cavidades, do tipo drusas (Foto 17), que inviabilizariam a sua utilização como rocha ornamental. Assim como acontece com os outros materiais do complexo, essas cavidades deverão ser desgastadas, eliminando-se os cristais ali formados, para depois serem preenchidas com uma mistura, formada de resina e pó da rocha, denominada de estuque. Quando as cavidades são muito grandes, além do estuque, são colocados pedaços da rocha, a fim de se estabelecer maior resistência ao preenchimento. As chapas assim preparadas recebem um novo desbaste, eliminando-se as irregularidades referentes ao preenchimento. Em seguida, essas chapas são aquecidas num forno próprio, para receberem posteriormente três camadas de resinagem, que conferem resistência ao material pelo preenchimento dos poros, bem como a redução da porosidade e capacidade de absorção d'água.



Foto 17: Cavidades existentes nas chapas de *Sea Foam Green*.





Foto 18 - Preenchimento de cavidades com estuque em chapas de *Sea Foam Green*.



Foto 19 - Detalhe das cavidades sendo preenchidas com pedaços de rocha e estuque.



Foto 20: Chapa resinada sendo levada ao forno.

#### 4.3 – ASPECTOS COMERCIAIS DO SIENITO TUNAS

As rochas ornamentais de Tunas, seja pela sua beleza e raridade de padrão, atingem no mercado internacional preços médios em torno de US\$ 450,00/m<sup>3</sup>, quando em blocos brutos, podendo chegar até a US\$800,00/m<sup>3</sup>, em caso de materiais especiais. Sob a forma de chapas polidas ou de ladrilhos, agregam maior valor, algo em torno de três vezes superior ao valor do bloco. O preço do m<sup>2</sup> de chapas polidas do sienitos de Tunas para exportação variam em função da espessura e do tipo do material. A tabela 1 apresenta os preços atingidos por alguns desses materiais destinados à exportação.

Tabela 1 - Preços sugeridos pelos exportadores para as rochas ornamentais de Tunas/PR.

<b>Espessura (cm)</b>	<b>Chapas polidas US/m<sup>2</sup></b>		<b>Ladrilhos Polidos US/m<sup>2</sup></b>			<b>Blocos US/m<sup>3</sup></b>
	<b>2 ,0</b>	<b>3 ,0</b>	<b>30,5 x 30,5</b>	<b>40 x 40</b>	<b>45 x 45</b>	
Prata Boreal	60,00	81,00	60,00	66,00	73,00	550,00
Verde Boreal	70,00	95,00	70,00	77,00	85,00	750,00
Damasco	48,00	65,00	50,00	55,00	61,00	X
Verde Floresta	85,00	115,00	85,00	94,00	104,00	X
Verde Leopardo	65,00	88,00	65,00	72,00	80,00	650,00
Jade Cristal	100,00	135,00	100,00	110,00	121,00	X
Prata	60,00	81,00	60,00	66,00	73,00	X
Verde Tunas Light	65,00	88,00	65,00	72,00	80,00	X
Verde Tunas	81,00	110,00	80,00	88,00	97,00	X
Verde Mar	150,00	203,00	140,00	154,00	170,00	X

Fonte: Marmoraria Água Verde Ltda

Apesar da privilegiada posição que os sienitos de Tunas ocupam no mercado internacional de rochas ornamentais, sua comercialização é problemática, principalmente em função da grande variedade cromática e textural que essas rochas apresentam, dificultando a manutenção de um padrão comercial. Assim, as empresas exportadoras vêm-se obrigadas a classificar o produto a ser exportado, em lotes de chapas e ladrilhos com as mesmas características, sem uma garantia de que uma nova remessa apresentará, rigorosamente, as mesmas feições que a anterior.

Nos últimos dois anos, surgiu no mercado internacional um material, inicialmente denominado de *Yan Shan Green*, proveniente da China, que muito se assemelha às variedades sieníticas de Tunas (Foto 21), podendo vir a ser comercializada como tal, em função dos preços que as mesmas assumem, bem como pela sua posição de material nobre, já conquistada no mercado de rochas ornamentais mundial. Tal fato muito preocupa as empresas produtoras paranaenses, pois uma injeção maciça desse material no mercado, por parte da China, poderia

provocar a perda de mercado cativos no exterior e até mesmo a queda dos preços dos sienitos de Tunas. Cabe, portanto, a essas empresas exportadoras, a responsabilidade do incremento no fornecimento dos sienitos ornamentais de Tunas, bem como uma melhor caracterização dessas rochas, com vistas a uma padronização que atenda aos mercados consumidores.



Foto 21 – Rocha ornamental chinesa semelhante ao Verde Tunas (Ladrilho 30x30 cm)



## **5 – MÉTODOS E MATERIAIS DE TRABALHO**

Para a realização do presente trabalho, foram realizadas as etapas, listadas a seguir, desenvolvidas de forma consecutiva e/ou concomitante, utilizando a metodologia e materiais descritos em detalhe, nos próximos capítulos:

- 1 – Pesquisa e revisão bibliográfica;
- 2 – Tratamentos digitais de dados topográficos e integração com fotografias aéreas e confecção de base cartográfica e geológica;
- 3 – Trabalhos de campo;
- 4 – Amostragem;
- 5 – Estudos laboratoriais mineralógicos, petrográficos e geoquímicos;
- 6 – Elaboração de Mapa Faciológico;
- 7 – Ensaio Tecnológicos;
- 8 – Medidas Gamaespectométricas das rochas das diferentes fácies petrográficas;
- 9 – Integração final dos dados e confecção da dissertação de mestrado.

### **5.1 – PESQUISA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Esse trabalho envolveu o levantamento dos trabalhos realizados e publicados sobre o Complexo de Tunas, envolvendo os aspectos de geologia regional, local, estrutural, petrografia, geoquímica e geocronologia, além de trabalhos referentes às suas rochas ornamentais. À esses trabalhos foram integrados outros, referentes a assuntos correlatos a diferentes itens levantados ao longo do desenvolvimento da pesquisa e da confecção da dissertação.

Além desses trabalhos, a pesquisa consistiu na obtenção de mapas topográficos, geológicos, fotos aéreas e imagens de satélite da área de estudo.

## 5.2 - TRATAMENTOS DIGITAIS DE DADOS TOPOGRÁFICOS E GEOLÓGICOS

Compreendeu a confecção, via digitalização de um mapa topográfico de base, na escala de 1:10.000, obtido a partir da integração das Cartas da COMEC SG-22-X-B-IV-4 -SE-A, 4-SE-C, 4-SE-D, 4-SE-E e 4-SE-F, na mesma escala, do ano de 1976.

Sobre esse mapa topográfico, foi lançado um mapa geológico base do complexo, obtido pela integração do mapa elaborado por Vasconcellos (1991) com os dados obtidos em verificação de campo.

Como apoio a esse trabalho, foram utilizadas fotografias aéreas do complexo, nas escalas de 1:70.000 (Cruzeiro do Sul, 1963), 1:25.000 (AEROSUL, 1980) e 1:20.000 (FIDUCIAL, 2000).

Nesta etapa foram utilizados os softwares AutoCad 2002 e Corel Draw 11.

## 5.3 – TRABALHOS DE CAMPO

Os trabalhos de campo não obedeceram a uma programação rígida. Foram realizados em diversas épocas, aproveitando os períodos em que o autor realizava visitas, a serviço, nas pedreiras da região. Nestes trabalhos, realizou-se um caminhar ao longo de todo o complexo, visando o reconhecimento da região, das estradas e das drenagens, localizando-se afloramentos, verificando-se a geologia e coletando-se amostras. Como auxílio a esse trabalho foram utilizadas as cartas topográficas da COMEC na escala de 1:10.000 e o mapa geológico de Vasconcellos (1991), bem como as fotografias aéreas disponíveis, além de um aparelho de GPS –Garmin Etrex Summin.



#### 5.4 - AMOSTRAGEM

A campanha de amostragem foi direcionada às rochas ornamentais, ou seja, aos sienitos alcalinos, e às rochas com potencialidade a serem aproveitadas como tal (dioritos e monzodioritos, além de alguns tipos de brechas). Ao todo foram amostrados 86 pontos significativos ao longo de todo o complexo, incluindo frentes de lavra e afloramentos. Nos afloramentos, procurou-se retirar amostras sãs, utilizando-se para isso um martelete ATLAS COPCO Cobra 148, à gasolina, que permite a execução de furos de  $\frac{3}{4}$ " a uma profundidade de 1,2 metros, e as amostras foram destacadas através de explosivo (pólvora de mina e estopim) (Foto 22 ).

Todas as amostras retiradas foram georreferenciadas e os pontos projetados no mapa topográfico e geológico.



Foto 22 - Campanha de amostragem, com utilização de martelete Atlas Copco

## 5.5 - ESTUDOS MINERALÓGICOS, PETROGRÁFICOS E GEOQUÍMICOS

Os estudos laboratoriais compreenderam a petrografia e a geoquímica das rochas com potencial ornamental no complexo.

A análise petrográfica a partir de seções delgadas e polidas de uma rocha ornamental é de fundamental importância para a determinação de sua composição mineralógica e classificação petrográfica. Também permite observar fatores importantes que influirão na caracterização tecnológica e que é função de várias propriedades, como alterações metassomáticas e intempéricas, existência de microfissuras, poros e várias outras descontinuidades.

Das amostras coletadas foram selecionadas 13, referentes a materiais explotados nas pedreiras, das quais foram executadas lâminas delgadas para análise petrográfica em microscópio polarizador. Além dessas, foram descritas mais outras 39 lâminas, escolhidas em acervo de trabalhos anteriores executados no complexo, tais como trabalhos de mapeamento geológico executados por alunos da UFPR, nos anos de 1982 e 1995, bem como da dissertação de mestrado de Vasconcellos (1991). A localização das amostras dessas lâminas encontra-se no mapa topográfico e geológico. Essas análises petrográficas foram realizadas no laboratório de Mineralogia e Petrologia (LAPEMIN) do Departamento de Geologia da UFPR.

Além disso foram selecionadas 22 amostras de materiais diversos do complexo para a execução de análise geoquímica em espectrômetro de fluorescência de raios X (FRX). Essas amostras foram britadas, pulverizadas em moinho e preparadas para FRX em pastilhas fundidas. As análises de FRX foram feitas no Laboratório de Análise Minerais e Rochas - LAMIR do Departamento de Geologia da UFPR. Os óxidos determinados na caracterização química foram:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  e perda ao fogo. Além disso foram realizadas análises de difratometria das amostras anteriormente citadas.

## 5.6 - ELABORAÇÃO DE MAPA FACIOLÓGICO

Ainda na fase de trabalhos de campo, realizou-se um mapeamento faciológico do complexo, que teve por objetivo distinguir, petrograficamente, as fácies dos sienitos ornamentais, procurando, além de descrever as diferentes fácies petrográficas, também delimitá-las cartograficamente.

Os critérios metodológicos empregados para diferenciar as fácies são definidos por Ulbrich *et al.* (2001), que definiram fácies petrográfica como “a unidade litoestratigráfica informal de menor hierarquia, que pode ser reconhecida e descrita, nas amostras de mão e no campo, pelas características mineralógicas, texturais e estruturais”.

Seguindo essa metodologia foram definidas quatro fáceis petrográficas para os sienitos explorados no Complexo Alcalino de Tunas, sendo que algumas dessas fácies agrupam dois ou mais produtos comerciais, pelas características de cor, textura e granulometria semelhantes, sendo identificadas por nomenclatura informal, propositadamente coincidentes com os nomes comerciais adotados aos principais materiais do complexo.

## 5.7 - ENSAIOS TECNOLÓGICOS

As rochas ornamentais, quando em uso, são submetidas a diversas solicitações físico-mecânicas. As características tecnológicas refletem basicamente o comportamento físico-mecânico das rochas nas condições normais de utilização, permitindo diagnosticar problemas estéticos decorrentes da seleção e aplicação inadequadas dos materiais.

Os ensaios tecnológicos objetivam balizar os campos de aplicação dos materiais e o seu comportamento frente às solicitações, sendo já exigíveis pelos consumidores e constando como itens obrigatórios em catálogos fotográficos

promocionais dos grandes fornecedores.

Os procedimentos e padrões de avaliação dos resultados de ensaios tecnológicos são determinados por normas técnicas. Os principais conjuntos de normas, nem sempre equivalentes em suas especificações, são definidos pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), ASTM (American Society for Testing and Materials), DIN (Deutsch Institut für Normung), AFNOR (Association Française de Normalization), AENOR (Asociación Española de Normalización), BS (British Standart), etc.

No presente trabalho, foram selecionadas três variedades de sienitos ornamentais extraídos do complexo e comercializados, as quais foram submetidas à ensaios de caracterização tecnológica, no Laboratório de Rochas Ornamentais da UNESP – Universidade Estadual Paulista – Campos Rio Claro, obedecendo às seguintes normas da ABNT: NBR 12763/92, NBR 12764/92, NBR 12766/92, NBR12767/92, NBR 12042/92; bem como à norma ASTM C880. Essas variedades foram submetidas aos seguintes ensaios físico-mecânicos: massa específica aparente seca e saturada, porosidade aparente, absorção d'água, desgaste abrasivo Amsler, resistência à compressão uniaxial simples, módulo de ruptura (flexão 3 pontos), resistência à flexão na tração (flexão 4 pontos), resistência ao impacto de corpo duro e velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas.

Além dessas variedades sieníticas, uma variedade de brecha vulcânica foi analisada, no Laboratório de Petrologia e Tecnologia de Rochas do IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, a pedido da empresa Aco Mineração Ltda, que gentilmente cedeu os resultados para a confecção desse trabalho. Para essa variedade de brecha, foram executados os seguintes ensaios: massa específica aparente seca e saturada, porosidade aparente, absorção d'água, desgaste abrasivo Amsler, resistência à compressão uniaxial simples, módulo de ruptura (flexão 3 pontos), resistência ao impacto de corpo duro e velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas, todos obedecendo às mesmas normas citadas anteriormente.

## 5.8 – MEDIDAS GAMAESPECTROMÉTRICAS DAS FÁCIES PETROGRÁFICAS

Com base no mapeamento faciológico, foram escolhidos afloramentos dos sienitos ornamentais do complexo, onde foram realizadas medições de concentrações de Urânio(U) e Tório(Th) em ppm, além de Potássio (K), em porcentagem, através do aparelho Gamaespectrômetro Scintrex GS-512, do Laboratório de Pesquisas em Geofísica Aplicada do Departamento de Geologia da UFPR, de modo a verificar se as diferentes fácies definidas apresentam diferentes respostas em termos de emissão de radionuclídeos naturais.

## 5.9 - INTEGRAÇÃO FINAL DOS DADOS E CONFEÇÃO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Nesta etapa foram integrados todos os resultados obtidos com esses trabalhos e comparados com os dados existentes na literatura temática. Por fim, procedeu-se à confecção da dissertação de mestrado.

## **6- CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL**

### **6.1 – O MAGMATISMO MESOZÓICO NA PLATAFORMA SUL-AMERICANA**

Após um longo período de calmaria tectônica, apresentado desde o Carbonífero Superior, manifestou-se na Plataforma Sul-Americana, a partir do Jurássico, um intenso processo de tectonismo, caracterizado, sobretudo, pela reativação de antigos falhamentos e surgimento de antigos blocos de falha, soerguimento de arcos, abatimentos de bacias costeiras e acentuada subsidência da Bacia do Paraná. Esse fenômeno diástrófico, denominado de Reativação Wealdeniana (Almeida, 1967) ou Evento Sul-Atlântico (Shobbenhaus, 1984), interrompeu a estabilidade da Plataforma Brasileira, sendo responsável pela manifestação do magmatismo alcalino na sua região sul.

Entre o Jurássico Superior e o Cretáceo Inferior Pré-Aptiano manifestou-se o extenso vulcanismo basáltico toleítico com seus derivados ácidos, que preencheram a Bacia do Paraná, bem como os enxames de diques expostos às suas bordas. Esses derrames estenderam-se à área que viria a ser ocupada pela Bacia de Santos. Nas bordas das bacias, desenvolveram-se, ou foram reativados, arcos de flexura e zonas de falhas. Foi nesse ambiente tectônico que se processou uma primeira fase do vulcanismo alcalino, contemporânea aos basaltos, às bordas da Bacia do Paraná e no interior do Cráton Amazônico, na Bolívia Oriental. No Cretáceo Superior, com derradeira pulsação no Eoceno, manifestou-se uma segunda fase desse vulcanismo, caracterizada pela cessação do vulcanismo basáltico-toleítico e pelo aparecimento do vulcanismo alcalino. A terceira fase é marcada pelo decréscimo e extinção do vulcanismo e pela atenuação das atividades de falhas (Almeida, 1983).

Assim, os diversos corpos de rochas alcalinas do Paraná estão associados à segunda fase desse diastrofismo, denominado de Reativação Wealdeniana. Além

deles, vários outros corpos alcalinos se espalham em grande área da Plataforma Sul-Americana, grupados em constelações isoladas, freqüentemente em arranjos lineares, dispostos paralelamente à costa, à borda erosiva da Bacia do Paraná ou fazendo ângulos variados em relação a essa borda. Cada grupo geográfico compreende rochas alcalinas e associadas, que mantêm entre si relações petrográficas próprias e pertencem a determinados intervalos de idades. Essas rochas em maior parte se relacionam a feições tectônicas locais reconhecíveis, sejam arcos, flexuras, zonas de falhas ou *riffs*, sendo por isso divididas em províncias alcalinas de: Poços de Caldas, Alto Paranaíba, Rio Verde – Iporá, Paraguai Oriental, Mariscal, Piratini, Santa Catarina, Arco de Ponta Grossa, Ipanema, Serra do Mar, Velasco e Candelária (Almeida, 1983).

O Complexo Alcalino de Tunas pertence à Província do Arco de Ponta Grossa, juntamente com outros corpos constituídos por *plugs*, *stocks* ou chaminés. O Arco de Ponta Grossa é uma grande estrutura soerguida, com eixo NW, adentrando a Bacia do Paraná entre São Paulo e Santa Catarina. Seu embasamento exposto no núcleo da estrutura, no qual se incluem as intrusões alcalinas, é constituído por rochas pré-cambrianas, com estruturas orientadas na direção NE, sendo transversais ao eixo do arco e às grandes fraturas e falhas normais mesozóicas (Fig 4). Seu soerguimento se deve a Reativação Wealdeniana, quando foi retalhado em segmentos crustais sub paralelos, limitados pelas falhas : Serra da Fatura, São Jerônimo-Curiúva e do Rio Alonzo (Almeida, 1983).

Pertencem ao Alinhamento de Guapiara as intrusões de Jacupiranga, Juquiá, Registro e Pariquera-Açu, as demais pertencem ao Alinhamento São Jerônimo-Curiuva.

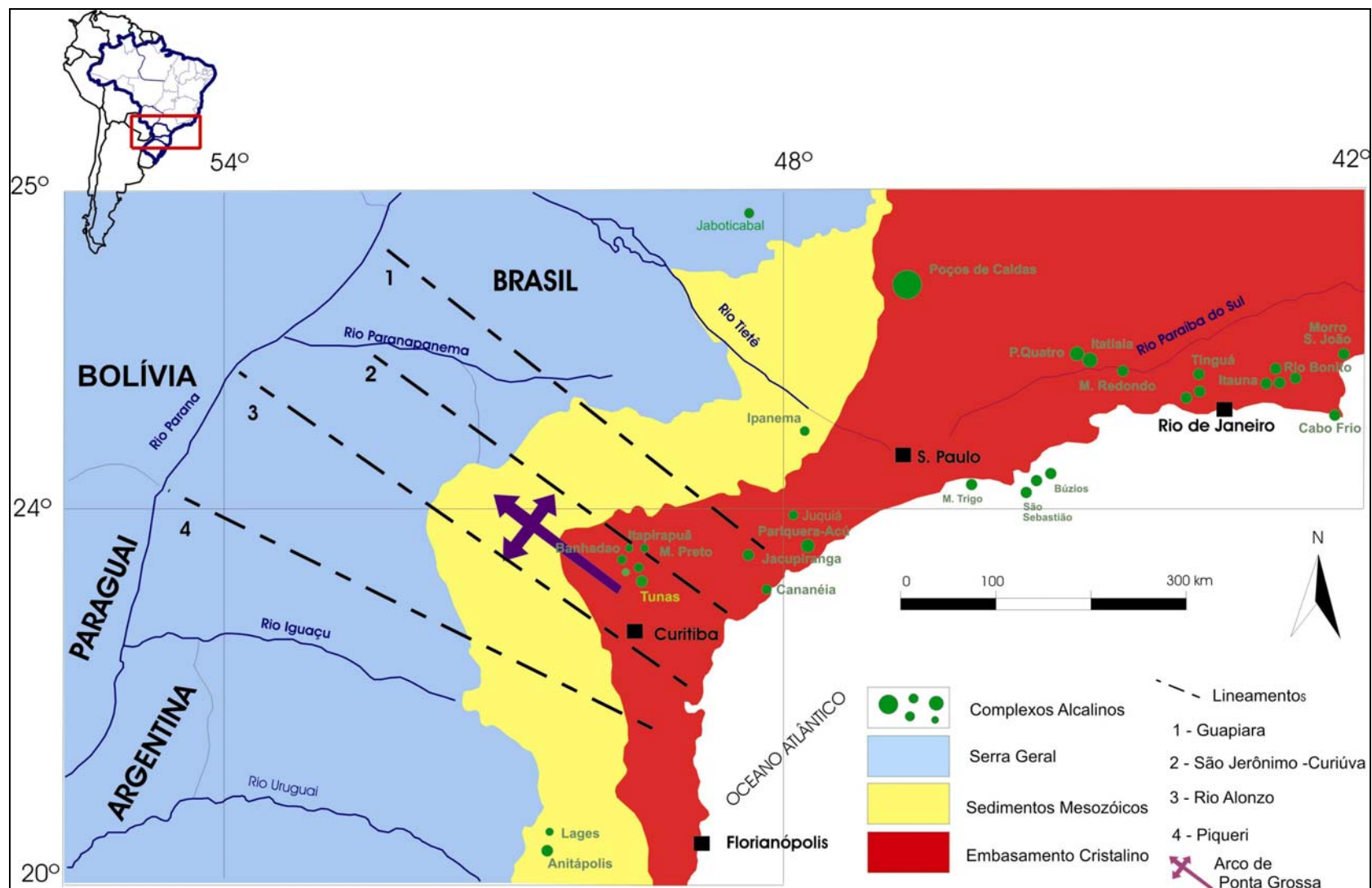


Figura 3 – Distribuição das rochas alcalinas mesozóicas na região sul da Plataforma Sul-Americana  
Modificado de Almeida (1983)



Petrograficamente, é muito variada a composição desses centros intrusivos. Predominam rochas correspondentes às linhagens alcalinas, gabróide e ultramáfica, com piroxenitos, jacupiranguitos, peridotitos, essexitos, ijolitos, nefelinitos, shonkinitos, malignitos, teralitos, dunitos etc. Carbonatitos ocorrem em algumas intrusões como em Jacupiranga, Juquiá (Serrote), Barra do Itapirapuã e Mato Preto. Há intrusões em que predominam rochas de natureza félsica, subsaturadas a saturadas, como nefelina-sienitos, pulaskitos, sienodioritos, tinguaítos, foiaítos, fonolitos etc. Tais são os corpos de Tunas, Banhadão, Cananéia, Barra do Teixeira, Sete Quedas, Barra do Rio Ponta Grossa e Mato Preto. Não há rochas vulcânicas alcalinas preservadas na Arco de Ponta Grossa, provavelmente tendo sido destruídas pela erosão cenozóica (Almeida, 1983)

Algarte (1972) indicou de modo claro que as intrusões alcalinas do sul de São Paulo e do Paraná (Tunas e Itapirapuã, Mato Preto, Barra do Teixeira e Banhadão) acham-se em conjunto alinhadas a NW, paralelamente ao eixo do arco e ao alinhamento estrutural Guapiara.

## 6.2 - GEOLOGIA REGIONAL

O Vale do Ribeira, região onde se encontra o Complexo Alcalino de Tunas, tem sido alvo de diversos estudos geológicos, desenvolvidos por vários pesquisadores, motivados, em grande parte, pela complexidade geológica dos terrenos pré-cambrianos e pelas mineralizações encontradas na região. Os domínios litológicos dessa região são constituídos principalmente por pacotes de rochas meta-vulcano-sedimentares de idade Proterozóica pertencentes ao Grupo Setuva e ao Grupo Açungui. Todo conjunto encontra-se intrudido por corpos graníticos de idade Brasileira e por unidades rochosas mais jovens, representadas por maciços (stocks) básicos a intermediários, alcalinos e diques básicos do Mesozóico.

A divisão estratigráfica regional é motivo de controvérsias, havendo várias colunas estratigráficas publicadas. Este fato deve-se principalmente à complexidade tectono-estrutural da área, que apresenta falhas de empurrão de baixo ângulo,

falhas normais e transcorrentes. As rochas metamórficas apresentam-se com dobramentos, em muitas partes de caráter isoclinal e evidências do fenômeno de transposição.

#### 6.2.1 – Grupo Setuva

O Grupo Setuva possui idade do Proterozóico Médio (1.800 a 1.000 milhões de anos), ocorrendo na forma de núcleos descontínuos, subdividido por Fritzsons Júnior *et. al.* (1982) nas formações Perau e Água Clara.

A Formação Perau ocorre em dois blocos distintos, um a sul e outro a norte da Falha da Lancinha. No bloco norte, a formação aflora na forma de núcleos isolados, denominados Alto Açungui, Ouro Fino, Betara e Tigre. No bloco sul ocorre bordejando o Antiforme Setuva, diferindo do bloco norte pela ausência de corpos metabásicos. Tal formação compreende rochas quartzíticas, carbonáticas, xistos clásticos, metabasitos, metavulcânicas e formações ferríferas, jazendo sobre as rochas gnáissico-migmatíticas do Complexo Pré-Setuva (Fritzsons Júnior *et. al.*, 1982).

A Formação Água Clara é composta por uma unidade clástica basal quartzítica, seguida por uma unidade carbonática composta por metamargas, muitas vezes mineralizadas em Cu, Pb, Zn e Au, sobreposta por uma nova unidade clástica, composta por metargilitos e metassiltitos com intercalações de anfibolitos (Fassbinder, 1996).

Segundo Fiori (1994) a denominação de Formação Setuva deve-se restringir à faixa de paragneisses, xistos e quartzitos que bordeja a Antiforma Setuva. Para Althoff & Fiori (1991, 1992) essa faixa representa uma zona de cataclasitos, milonitos e ultramilonitos, tratando-se de uma tectonofácies.

Fassbinder (1996) a partir de dados isotópicos de  $^{18}\text{O}$  colocam a unidade Água Clara na base do Grupo Açungui. Fassbinder (1996) sugere ainda o abandono das denominações Perau e São Sebastião em favor da denominação Água Clara, pois características litológicas, metamórficas e estruturais levaram o autor a concluir que se trata de uma mesma unidade.

### 6.2.2 – Grupo Açungui

Açungui apresenta unidades estratigráficas que com o passar dos anos foram subdivididas, rearranjadas e até mesmo excluídas. Em uma retrospectiva rápida e geral o Grupo Açungui foi inicialmente dividido por Bigarella & Salamuni (1958), com base em discordâncias angulares e de erosão, diferenças litológicas e estruturas singenéticas, nas formações Setuva, Capiçu e Votuverava. A base do grupo estava representada pela Formação Setuva, que por discordância angular encontrava-se sotoposta à Formação Capiçu que por sua vez estava encoberta pela Formação Votuverava. Estudos posteriores individualizaram outras litofácies dentro da Formação Votuverava, acrescentando ao Grupo Açungui a Formação Água Clara (Marini *et. al.* 1967). Em 1970 a Formação Setuva foi excluída do Grupo Açungui por Marini, que utilizou como critérios discordâncias angulares, brusca mudança no grau metamórfico e diferenças nas direções dos eixos de dobras existentes entre as rochas das Formações Setuva e Capiçu. Mais tarde, as formações Setuva e Água Clara foram redefinidas e, em função do grau metamórfico e padrão estrutural complexo, foram consideradas mais antigas que o Grupo Açungui (Fritzson Júnior *et.al.*, 1982). Além disso, parte da Formação Votuverava passou a constituir a Sequência Antinha. Fiori (1992) e Fiori & Gaspar (1993) incluem ao Grupo Açungui a Formação Antinha, definindo-a como topo do grupo. Fassbinder (1996), a partir de estudos isotópicos de  $^{18}\text{O}$ , define o Supergrupo Açungui e inclui as unidades Água Clara, Votuverava, Capiçu e Itaiacoca. Considera ainda que as estruturas que deformaram a bacia Açungui fazem parte de um evento progressivo com cinemática transpressional.

O Grupo Açungui, que foi caracterizado por Bigarella & Salamuni (1958) como o grupo que apresenta nítido caráter epimetamórfico, com a preservação da maioria de suas estruturas originais, é apresentado por Fiori (1992, 1994) Fiori & Gaspar (1993) com uma estratigrafia não original, mas resultante do empilhamento de fatias tectônicas decorrentes de cavalgamentos que ocorreram durante o fechamento da bacia. Trata-se de um grupo do Proterozóico Superior representado pelas formações Capiçu, Votuverava e Antinha.

A Formação Capiçu foi subdividida por Fiori (1994) em quatro conjuntos litológicos distintos (Juruqui, Bocaina, Rio Branco e Morro Grande) separados uns

dos outros por falhas de cavalgamento. Esta formação engloba todos os metassedimentos do Grupo Açungui ao sul da Falha da Lancinha.

O conjunto Juruqui é composto basicamente por filitos avermelhados com intercalações subordinadas de quartzitos. O conjunto Rio Branco dispõe-se tectonicamente sobre o conjunto Juruqui através das falhas da Colônia Venâncio e das Aranhas. Compreende mármores e/ou metacalcários intercalados a filitos e quartzitos. O conjunto Morro Grande é caracterizado pela alternância de camadas decamétricas de quartzitos, filitos e mármores. Os últimos geralmente bandados ou rítmicos, enquanto que os quartzitos exibem padrão mais homogêneo. Este conjunto jaz sobre o conjunto Rio Branco através das falhas de Tranqueira-Pessegueiro. O conjunto Bocaina, por sua vez, é composto por xistos com quartzitos intercalados, intercalações secundárias de filonitos e/ou milonitos e um pequeno corpo de mármore. Posiciona-se tectonicamente sobre o conjunto Rio Branco e está localizado na serra homônima, no flanco norte da Antiforma do Setuva.

A Formação Votuverava compõe-se por três conjuntos litológicos distintos (Bromado, Coloninha e Saivá), abrangendo associações litológicas geneticamente relacionadas, as quais se encontram separadas por falhas de cavalgamento, correspondendo a fatias da coluna estratigráfica original (Fiori, 1993). Cada um dos conjuntos mostra um grau de deformação decrescente a partir de suas bordas para seu interior (Fiori *et. al.* 1998).

O conjunto Bromado é constituído litologicamente por filitos, quartzitos e metaconglomerados polimíticos, posicionando-se tectonicamente sobre a seqüência Coloninha através da Falha do Bromado. O conjunto Coloninha compreende quartzitos e quartzitos conglomeráticos, filitos sílticos ou rítmicos, intimamente relacionados e freqüentemente um litotipo gradando para o outro, sendo comum a intercalação de lentes ou níveis descontínuos de metassilito no quartzito, bem como de veios e bolsões de quartzo leitoso subparalelos à foliação principal ou dispostos ao acaso, porém sempre com impregnações de ferro e manganês. Por sua vez, o conjunto Saivá, constitui-se por filito de coloração marrom escuro intercalado por níveis milimétricos esbranquiçados, exibindo alguns níveis mais escuros, grafitosos, intercalados. Constitui-se também por mármores relativamente homogêneos e metapelitos, entre estes ocorre um corpo de metabasito.

A Formação Antinha foi subdividida por Fiori (1993) em três conjuntos litológicos, denominados Tacaniça, Capivara e Vuturuvu. Apresenta sua organização estratigráfica original possivelmente preservada, uma vez que não foram reconhecidas falhas nos limites entre os conjuntos, porém, de acordo com Fiori (1993) a formação como um todo é alóctone ou parautóctone, pois seu limite inferior é representado pela Falha do Brejal.

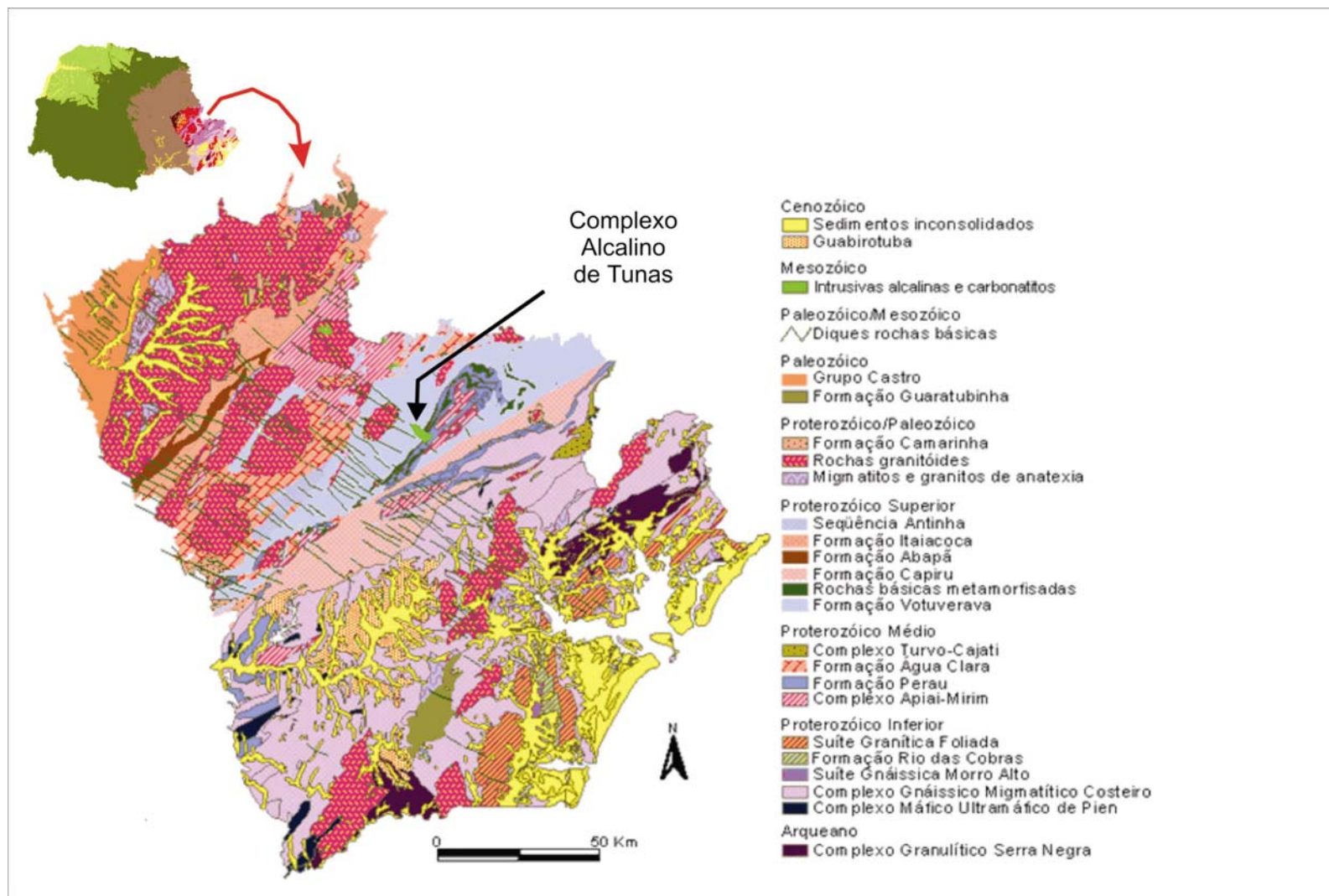


Figura 5 – Geologia do Escudo Paranaense  
Fonte: MINEROPAR (2001)

## 7 – GEOLOGIA LOCAL

### 7.1 – TRABALHOS ANTERIORES

Carvalho e Pinto (1937 *apud* Fuck, 1972) foram os primeiros autores a fazerem referência à ocorrência de rochas sieníticas na região de Tunas, tendo reconhecido um corpo sienítico cortado por diques e veios de traquito na localidade de Tuneiras, considerado por eles como intrusivo nos metassedimentos do Grupo Açungui.

Oliveira & Leonardos (1946, *apud* Fuck 1972) consideraram o corpo como intrusivo no Grupo Açungui e indicaram o crescimento da acidez das rochas, do centro para a periferia do complexo.

Moraes Rego & Almeida (1946 *apud* Fuck 1972) definiram dois tipos de sienito no complexo: um hornblenda sienito, de cor esverdeada e granulação média a grossa, e outro, um hornblenda-quartzo-sienito, de cor cinza e granulação fina a média.

Trein *et al.* (1967) reconheceram no complexo quatro chaminés justapostas, alinhadas no rumo NW-SE, descreveram os sienitos, gabros e traquitos encontrados no corpo, além de reconhecerem pela primeira vez a existência de brechas vulcânicas na região do Lageado, determinando sua composição e concluindo serem as mesmas de uma fase tardia, explosiva ou de colapso da chaminé sienítica.

Cordani & Hassui (1968) analisando amostras de sienito e gabro de Tunas, pelo método K/Ar, determinaram dois grupos de idades para as rochas do complexo, uma de 110 Ma e outro com 70 Ma, sugerindo com isso a possibilidade do complexo ter se formado em fases magmáticas sucessivas, durante um intervalo de tempo, do Cretáceo Inferior ao Cretáceo Superior.

Fuck (1972) caracterizou petrograficamente as rochas do complexo, como sendo formado por sienitos, pulasquitos, gabros alcalinos, sienodioritos, dioritos, rochas filonianas e brechas vulcânicas. Teceu comentários sobre a gênese, idade e posicionamento do complexo na tectônica regional, além de ter descrito três ocorrências de brechas, caracterizando-as como de fase tardia, originadas por

colapso das estruturas e ascensão de lava traquítica, gerando mais um estágio de brechas.

Silva (1980) considerando os percentuais de apatita encontrados por Fuck (1972) em análises modais de gabros alcalinos, investigou o complexo através de análises geoquímicas do solo e medições cintilométricas, concluindo que o corpo alcalino não apresentava perspectivas de ocorrências econômicas de fosfato e outros minerais metálicos.

Ulbrich & Gomes (1981) enquadraram o Complexo de Tunas na associação gabro alcalina, ultramáfica, juntamente com as ocorrências da Ilha do Monte de Trigo e da Ilha de S. Sebastião, constituídas por pulasquitos, essexitos, teralitos e monzodioritos.

Silva *et al.* (1981) caracterizaram o complexo como sendo de tendência alcalina equerítica, de caráter alcalino feldspático, levemente subsaturado e composto de sienitos alcalinos, pulasquitos, gabros, dioritos e brechas vulcânicas com matriz traquítica, além de diques de bostonito e foiaítos.

Hara & Silva (1982) descreveram treze variedades de rochas alcalinas de Tunas, com base em características texturais e composição mineralógica, caracterizando duas ocorrências de brechas vulcânicas.

Soares (1984) caracterizou o Complexo de Tunas, que faz parte do Arco de Ponta Grossa, como sendo de comportamento diferencial, a partir de gráficos derivados de análises petroquímicas e estatísticas.

Gomes *et al.* (1987) realizaram um estudo petrológico e geoquímico sobre as rochas do Complexo de Tunas, descrevendo-o como constituído por sienitos e sienitos alcalinos, gabros alcalinos, sienogabros, essexitos e sienodioritos, além de diques de microssienito, traquito e bostonito, bem como brechas vulcânicas. Realizaram datações pelos métodos K/Ar e Rb/Sr para as rochas do complexo, obtendo idades entre 60 e 120 Ma, com maior frequência entre 80 e 90 Ma. Obtiveram uma série de dados a respeito dos minerais das rochas do complexo, sugerindo para elas uma origem a partir de cristalização fracionada de olivina, opacos, clinopiroxênios e plagioclásios como fases dominantes, bem como de apatita, anfibólio, biotita, titanita e feldspato potássico de magmas parentais de natureza gábrica alcalina a sienítica alcalina, com temperaturas iniciais de 1200 °C em gabros a 700°C em sienitos.



Vasconcellos (1991) realizou um estudo petrográfico do complexo, descrevendo-o como constituído por sienitos, sienitos alcalinos, gabros, monzogabros, dioritos, monzodioritos, veios pegmatóides, diques alcalinos (traquitos, microssienitos e bostonitos), além de descrever a química mineral e mapear sete ocorrências de brechas vulcânicas, classificando-as como intrusivas de conduto e tufisíticas. Reconheceu dois estágios de formação das brechas, sendo o mais antigo menos intenso e o segundo, responsável pela formação da maior parte delas. Através de análises, conclui que os clastos das brechas são provenientes de rochas alcalinas, de encaixantes do corpo e do material mantélico, sendo a matriz oriunda de processos de intrusão e fluidização.

Nagali (1991) descreveu as rochas ornamentais do Complexo Alcalino de Tunas sob o ponto de vista petrográfico e determinou alguns índices físicos de caracterização tecnológica para os sienitos Verde Tunas e Cinza/Verde Mar.

Vasconcellos & Gomes (1992) analisando os feldspatos e piroxênios da matriz das brechas vulcânicas do complexo, estabeleceram um modelo com diversos estágios de formação das diferentes brechas, sugerindo que a formação dos corpos brechados se processou com variação crescente de temperatura, da porção NW para SE.

Vasconcellos (1995) estudando os diques e plugs alcalinos do Vale do Ribeira, sob a ótica da petrografia e geoquímica, analisou os diques que cortam o Complexo de Tunas, constatando que se tratam de traquitos, distintos pela ausência de nefelina modal e pela presença de olivina, anfibólios e opacos. Além disso, constatou a grande disparidade nos teores de Terras Raras dos diques traquíticos de Tunas, com os demais estudados.

Di Giorgio (2003), através de observações petrográficas, análises litogeoquímicas e ao microscópio de varredura, procurou entender as causas da variação cromática das rochas do complexo, concluindo ser o conteúdo em ferro um dos fatores que proporcionaram a coloração verde nos sienitos de Tunas, bem como processos de alteração deutérico-hidrotermal.

## 7.2 - O COMPLEXO ALCALINO DE TUNAS

O Complexo Alcalino de Tunas é um corpo intrusivo em rochas metaígneas e metassedimentares pré-cambrianas do Grupo Açungui e Grupo Setuva, constituído por cerca de 80% de rochas alcalinas, formadas por sucessivas fases de cristalização fracionada, a partir de um magma de natureza gábrica alcalina.

Esse corpo alcalino possui um formato de um rim, alongado na direção NW-SE, ocupando uma área de aproximadamente 22 km<sup>2</sup>, com comprimento de 8 km e largura média de 2,7 km. Está compreendido entre as coordenadas geográficas 24°58'58" e 24°54'56" de Latitude Sul, 49°03'05" e 49°07'35" de Longitude Oeste (Vasconcellos, 1991).

Sua morfologia se destaca de modo nítido em relação ao relevo das rochas encaixantes, seja pelo seu formato alongado, seja pela diferenciação topográfica, facilmente distinguida em fotografias aéreas (Fig.6) ou de satélite

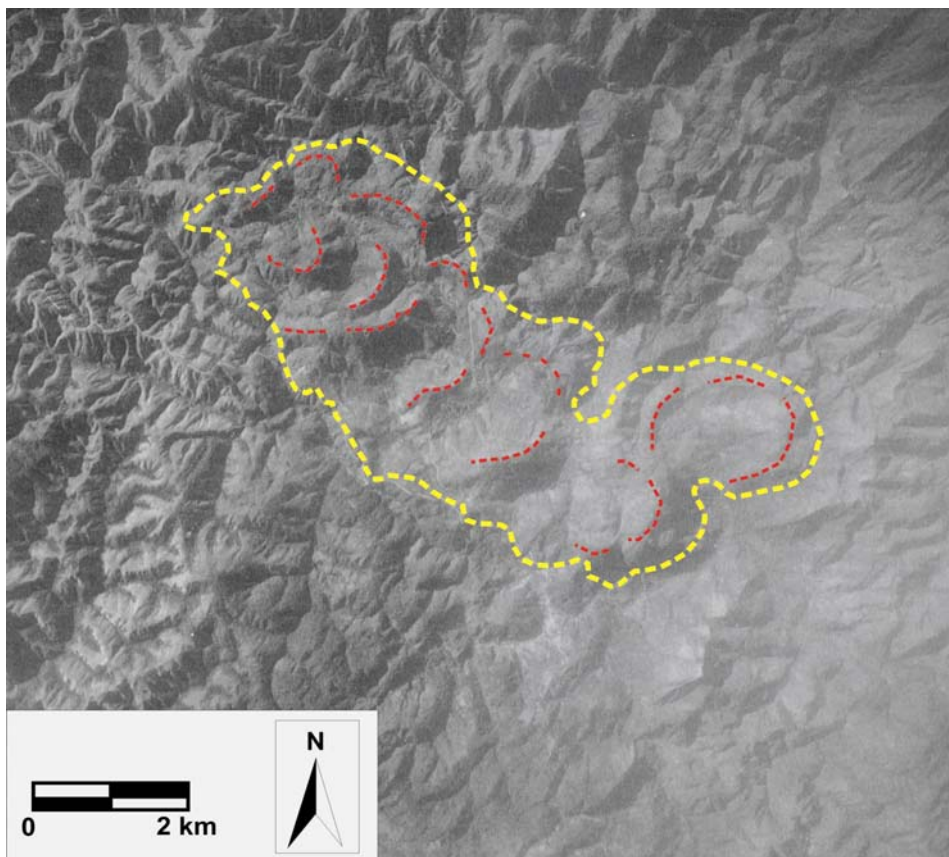


Figura 6 – Foto aérea do Complexo Alcalino de Tunas  
Fonte: Serviço Aéreo Cruzeiro do Sul. Aerofoto 8924 (1964) 1:70.000

O complexo é formado por cinco estruturas subvulcânicas anelares, justapostas, sendo que a chaminé da extremidade noroeste, embora imperfeita, é relativamente completa e aproximadamente circular, enquanto que as outras, que se seguem em direção à sudeste, apresentam formato de meia lua, com a convexidade voltada para SE. Segundo Fuck (1972), essa disposição indicaria que as estruturas se formaram seqüencialmente de SE para NW, sendo, cada estrutura, então formada, recortada pela subsequente, formando cristas semicirculares na porção média do complexo. Esse formato levou o mesmo autor a inferir que o foco do magmatismo migrou ao longo do eixo do complexo, deslocando-se de SE para NW. Entretanto a estrutura mais oriental do corpo constitui uma exceção, uma vez que, apresenta-se praticamente circular e deslocada em relação ao eixo SE-NW de alinhamento das demais

As bordas de cada estrutura são constituídas por rochas sieníticas mais resistentes ao intemperismo e erosão, sobressaindo-se na topografia local, tanto em relação às partes centrais, quanto às rochas encaixantes (Fotos 23, 24 e 25).



Foto 23 – Cristas definindo as estruturas circulares do Complexo Alcalino de Tunas



Foto 24 - Porção central do complexo na região do Rio Barro Vermelho

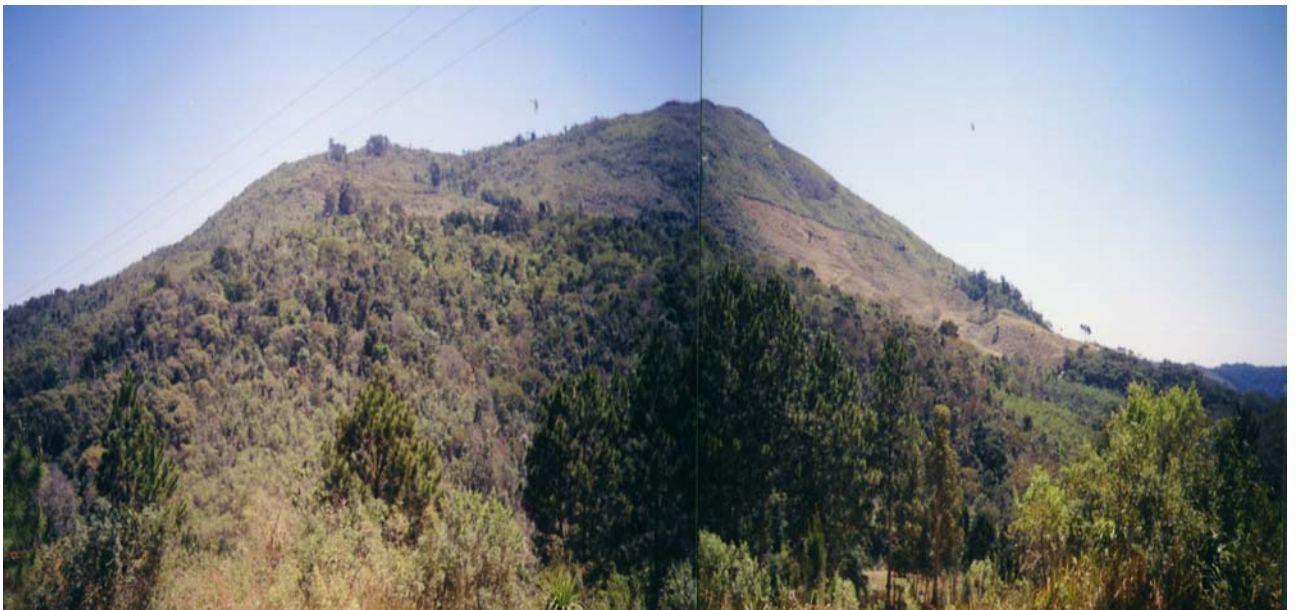


Foto 25 - Porção sul do complexo, onde se vê crista da segunda estrutura subvucânica

Como rochas encaixantes, o Complexo de Tunas apresenta na sua porção oeste, metassedimentos Pré-Cambrianos da Formação Votuverava do Grupo Açungui, constituídos por filitos, quartzitos, mármore e metabasitos. Na sua porção leste quartzitos, mármore e metabásicas da Formação Perau, além de gnaisses e xistos do Complexo Apiaí-Mirim, ambas pertencentes ao Grupo Setuva. O complexo



corta ainda diques de diabásio, de direção NW-SE, de idade Mesozóica, da Formação Serra Geral do Grupo São Bento, que ocorrem por toda a área penetrando as rochas da Formação Votuverava e Perau (Vasconcellos, 1991).

O corpo é afetado pela Falha da Lancinha, na sua porção sul e pela Falha de Morro Agudo ao norte. Segundo Fiori (1985), a existência, em todo o corpo, de lineamentos de direção NE-SW, que se estendem pelas rochas adjacentes, é um indicativo de que o corpo possa ter sido afetado pela ativação da Falha da Lancinha, que ocorreu no Mesozóico (Fig.7). Esta hipótese também é confirmada pela ocorrência de cataclasitos nas proximidades dos lineamentos, no interior do complexo (Vasconcellos, 1991).

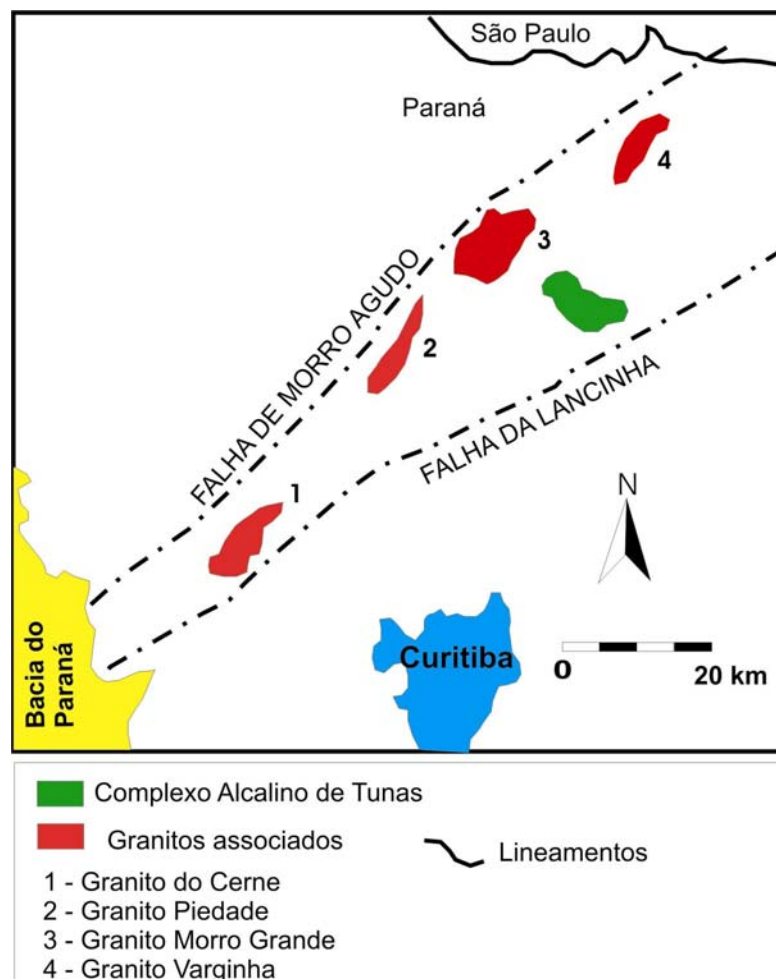


Figura 7 – Mapa esquemático mostrando o posicionamento do Complexo Alcalino de Tunas em relação às Falhas da Lancinha e de Morro Agudo, bem como principais corpos graníticos associados. Modificado de Fiori (1985)

## 7.2.1- ROCHAS DO COMPLEXO

Basicamente, o complexo é composto por rochas alcalinas (sienitos e sienitos alcalinos, monzogabros e gabros, monzodioritos e dioritos), diques alcalinos (traquitos, microssienitos e bostonitos), pegmatóides, cataclasitos e agmatitos, além de brechas vulcânicas (Fig.8) .

### 7.2.1.1 - ROCHAS ALCALINAS

#### 7.2.1.1.1 - Sienitos

São as principais rochas do complexo, ocupando cerca de 60% do corpo plutônico, aflorando em cristas das estruturas sub-vulcânicas que o compõe. Seus afloramentos alcançam altitudes de 800 a 1.100m. Essas rochas foram definidas por Fuck (1972) como sienitos alcalinos, pulasquitos e foiaítos a partir da análise de rocha total (Vasconcellos, 1991).

São cortados por diques de traquitos, microssienito e bostonito ou encontram-se em contato com veios pegmatóides. Muito comuns em alguns exemplares, são as concentrações de minerais máficos ou a ocorrência de concentrações de feldspatos pegmatóides disseminados na rocha. As chapas polidas desses sienitos ilustram bem a existência dessas feições (Foto 26), que por vezes podem vir a inviabilizar sua comercialização como material de revestimento.



Foto 26 – Chapa de sienito exibindo veios de microssienito

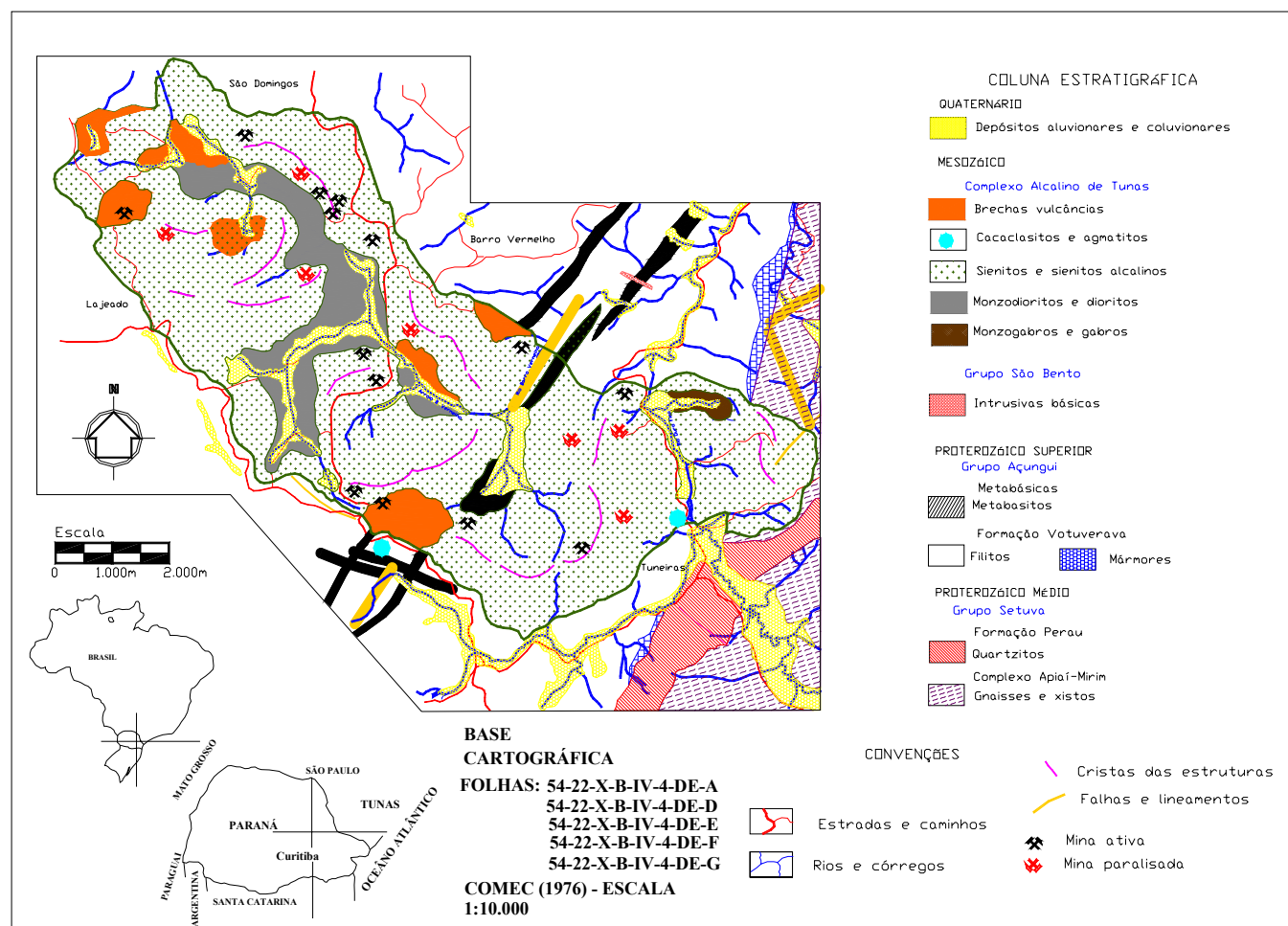


Figura 8 – Mapa Geológico do Complexo Alcalino de Tunas . Modificado de Vasconcellos (1991)



Os sienitos constituem a principal variedade litológica explorada comercialmente no complexo, apresentando uma grande variação tanto cromática quanto textural, responsável pela diferenciação dos mesmos como produto ornamental.

A coloração desses sienitos varia do verde intenso ao cinza esbranquiçado, sendo que os sienitos esverdeados são compostos principalmente por feldspato potássico, piroxênio, anfibólios como a riebeckita, biotita, opacos (muitas vezes sulfetos), plagioclásio, quartzo e acessórios como apatita e zircão e como minerais secundários argilominerais e carbonato. Já os sienitos de coloração cinza têm em sua composição feldspatos potássicos, piroxênios, anfibólios e, secundariamente, biotita, plagioclásio e acessórios como apatita, zircão, além de zeólitas, epidoto e carbonatos.

As descrições petrográficas dessas variedades sieníticas serão apresentadas no Capítulo 8, onde serão abordadas as diferentes fácies dos sienitos ornamentais.

#### 7.2.1.1.2 - Monzogabros e Gabros

Ocorrem na parte interna das chaminés sub-vulcânicas, ocupando as porções rebaixadas do complexo, encontrando-se parcialmente encobertos por depósitos aluvionares e coluvionares. Os maiores afloramentos encontram-se na porção mais leste do complexo, no interior da Fazenda Moderna, próximo à estrada Tuneiras - Anta Gorda. Os monzogabros aparecem em afloramentos ao longo dessa estrada, enquanto que os gabros são vistos apenas em blocos no Rio Ouro Fino. Os gabros ocorrem também na porção central do complexo, nas margens do Arroio Barro Vermelho em forma de pequenos matacões.

A amostra de gabro obtida neste trabalho (TP-72) apresenta coloração cinza-escuro, estrutura maciça, granulação média a grossa, apresentando como mineral predominante labradorita (50%), de hábito ripiforme, subédrico a euédrico, de granulação média a grossa, contendo inclusões de apatita (Fig.9). Em quantidade menor (5%), ocorre o feldspato potássico, apresentando-se um pouco alterado e com inclusões de apatita e opacos. A biotita, embora seja um mineral sempre presente, ocorre em pequenas quantidades (10%). Os anfibólios constituem 15% da

rocha, definidos como sendo kaersutita ou hornblenda, ocorrendo associados aos piroxênios e à biotita, apresentando hábito anédrico, granulação grossa e inclusões de opacos. Também perfazendo 15% da rocha, encontra-se o piroxênio, classificado como augita, de hábito anédrico, granulação grossa, com inclusões de anfibólios e opacos. Como acessórios, ocorrem minerais opacos e principalmente, cristais de apatita, como inclusões em quase todos os minerais.

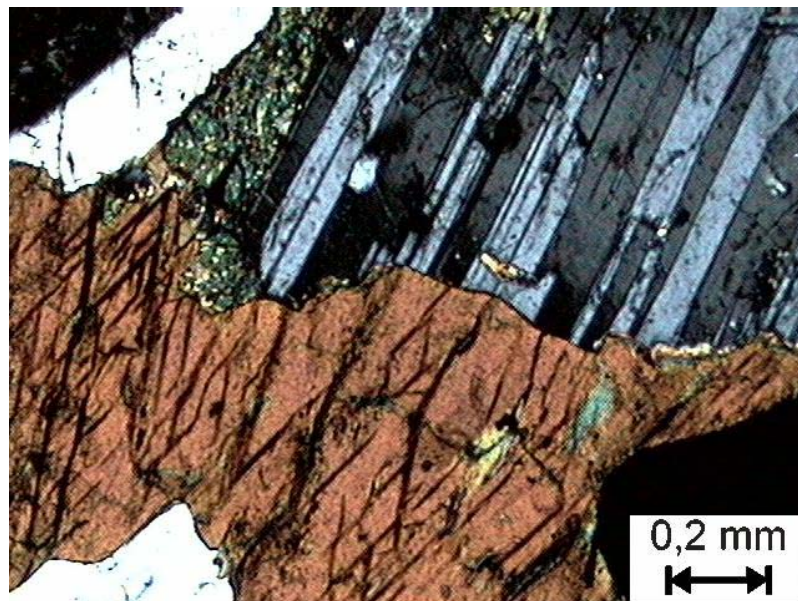


Figura 9 – Fotomicrografia exibindo o contato entre a Labradorita e a Kersutita em amostra de gabro do Arroio Barro Vermelho, sob luz polarizada.

#### 7.2.1.1.3 - Monzodioritos e dioritos

Essas rochas foram originalmente definidas por Fuck (1972) como sienodioritos e dioritos e, posteriormente, como sienodioritos, sienogabros e essexitos, por Gomes *et. al* (1987). Afloram em meia encosta ou próximo de drenagens, na região do rio Barro Vermelho e afluentes, à esquerda da BR-476, até o Lajeado. Ocorrem sob a forma de blocos e matacões, não definindo cristas e diferenciando-se das demais rochas do complexo pela maior quantidade de biotita e coloração mais esbranquiçada (Foto 27). Diferenciam-se entre si pela maior ou menor presença de feldspato alcalino (Vasconcellos, 1991).

As amostras de diorito analisadas apresentam quantidades de plagioclásio

variando de 55% a 64% do total da rocha, sendo em sua maioria de andesina, que apresenta hábito anédrico a subédrico, granulação grossa, grau incipiente de alteração para argilomineral, inclusões de apatita e opacos. Os piroxênios variam de 10 a 20% na rocha, identificados como augita e egrina-augita, apresentam granulação média a grossa, hábito anédrico, encontrados por vezes em agregados aciculares, normalmente junto a biotitas, exibindo, em algumas amostras, alterações e apresentando inclusões de apatita e opacos. A biotita ocorre em quantidades variáveis de 5% a 15%, normalmente envolvendo piroxênios, apatita e opacos, apresentando granulação média a grossa e hábito anédrico (Fig.10). A hornblenda foi o anfibólio encontrado em algumas amostras analisadas, em quantidades variando de traços a 10%, apresentando hábito anédrico, granulação média a grossa, normalmente associada à biotita.

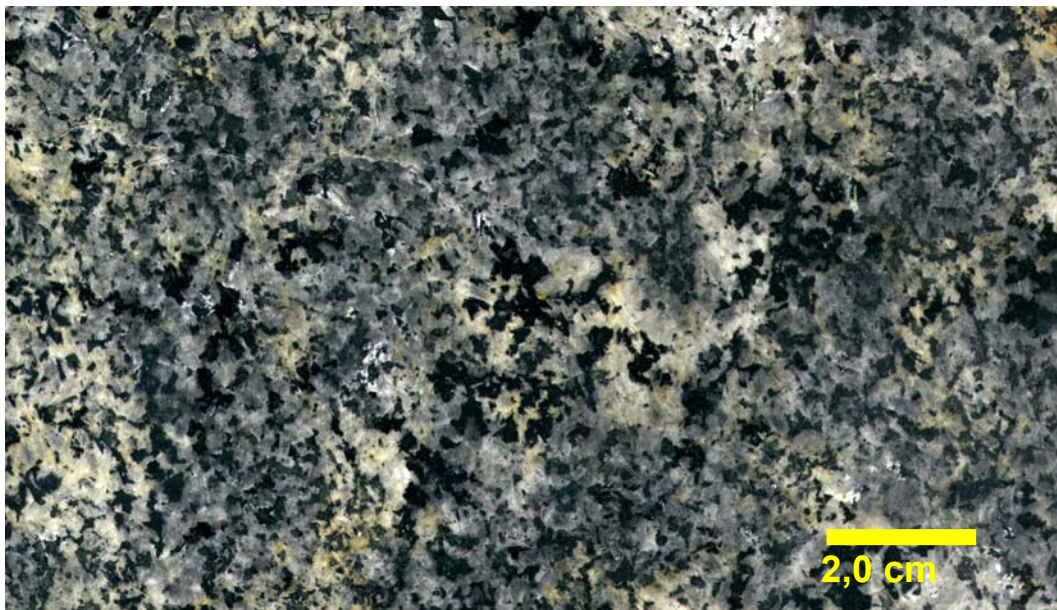


Foto 27 – Amostra polida de monzodiorito. Os minerais pretos são biotita e piroxênios, enquanto que os brancos, são plagioclásios.



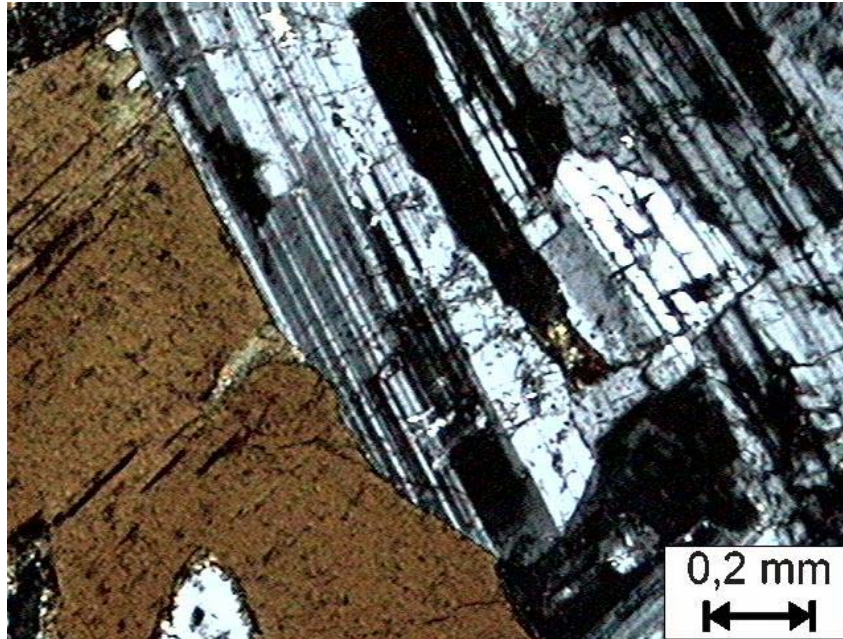


Figura 10 – Fotomicrografia exibindo contato entre plagioclásio e biotita em amostra de diorito (nicóis cruzados).

Dentre os minerais acessórios a apatita ocorre sob a forma de inclusões, além dos opacos que sempre estão presentes junto a biotita e/ou piroxênio. Traços de carbonatos se encontram presentes, sempre associados a biotitas e piroxênios.

#### 7.2.1.1.4 - Monzonitos

No presente trabalho foi identificado um afloramento dessas rochas, numa crista do flanco leste da segunda estrutura sub-vulcânica do complexo. Essas rochas vêm sendo lavradas através de corte por fio diamantado (Foto 28), e comercializadas com o nome de Damasco, sendo caracterizadas por apresentarem feldspatos de coloração rósea exibindo zoneamento. Essas rochas serão melhor descritas no Capítulo 8, referidas como pertencentes à Fácies Boreal.



Foto 28 – Frente de lavra de monzonito

#### 7.2.1.1.5 - Diques Alcalinos

O Complexo de Tunas é atravessado por diversos diques alcalinos, que cortam as rochas já formadas nos estágios iniciais de intrusão do corpo alcalino. Estão relacionados a pulsos posteriores de magmas parentais gabróicos e sieníticos, que originaram, por diferenciação, as rochas do complexo. Apresentam composição sienítica e grande variação textural, diferenciando-se em diques de traquito, microssienito e bostonito.

##### 7.2.1.1.5.1 - Traquitos

Possuem espessuras centimétricas, de coloração cinza claro a cinza esverdeado e granulação fina (Foto 29). São caracterizados pela orientação dos prismas de feldspato alcalino, definindo estrutura de fluxo paralela ao contato com a encaixante sienítica. A textura é tipicamente traquítica, definida pela orientação de feldspatos alcalinos ripiformes. Seus contatos são nítidos, havendo a predominância de material félsico em bandas mais largas e de máficos em bandas menos espessas. Nota-se uma maior concentração de finos agregados de piroxênio nos

contatos entre os traquitos com a encaixante sienítica (Vasconcellos, 1991). Di Giorgio (2003) ressalta a presença de carbonatos e sulfetos nos traquitos, assim como contatos lobados e feições de envolvimento de porções de sienito, indicando que o seu *emplacement* se deu em um estado ainda semi-plástico do sienito.



Foto 29 – Dique de traquito cortando o sienito

#### 7.2.1.1.5.2 - Microssienitos

Diferenciam-se dos traquitos por exibirem extrutura maciça. Sua espessura é centimétrica e apresenta contatos nítidos com as encaixantes alcalinas. Têm direção N80E, NE-SW e NW-SE (Fuck, 1972). São rochas de coloração cinza claro e granulação fina, constituídas de feldspato potássico, plagioclásios em menor quantidade, biotita, anfibólio (hornblenda) e piroxênio (augita). Como acessório, destaca-se a apatita que ocorre na matriz ou como inclusão nos fenocristais de feldspato (Vasconcellos, 1991).

Para a indústria de rochas ornamentais esses diques constituem um problema, pois se diferenciam do padrão normal esperado para essas rochas, muitas vezes sentenciando um bloco rochoso ou chapas polidas ao descarte, ou a comercialização como material de terceira linha (Foto 30).





Foto 30 – Ladrilho de sienito Verde Tunas cortado por microssienito

#### 7.2.1.1.5.3 - Bostonitos:

Caracterizados pela textura bostonítica, definida pela presença de cristais ripiformes de feldspato alcalino, com distribuição radial. A coloração é cinza esverdeado e a granulação fina, com fenocristais de feldspato alcalino branco em matriz muito fina. Além disso, possuem plagioclásio representando 5% da rocha, quantidades subordinadas de minerais máficos, como hornblenda verde, biotita de granulação fina, associada a opacos e augita, clorita e como acessório, o zircão, incluso em feldspatos (Vasconcellos, 1991).

#### 7.2.1.1.6 – Pegmatóides

Rochas que possuem megacristais de feldspato alcalino e que são encontradas cortando sienitos e sienitos alcalinos. Apresentam cavidades, do tipo drusas, preenchidas por anfibólios e feldspatos de granulação grossa (Fotos 31 e 32).

Di Giorgio (2003) atribui a essas rochas uma origem de fase fluida tardia, pneumatolítica ou hidrotermal, onde fraturas irregulares foram preenchidas por aglomerados de feldspatos. Também ocorrem alterações hidrotermais pervasivas

onde os fluidos reagiram com a encaixante sienítica, formando epidoto, clorita e argilominerais de granulação fina. Essa fase hidrotermal produz a ocorrência de drusas, preenchidas por carbonatos, zeólitas, turmalinas, berilo e sulfetos, proporcionando um padrão com cavidades a essas rochas, que deverão ser , posteriormente, preenchidas com resina, para o aproveitamento como rocha ornamental.

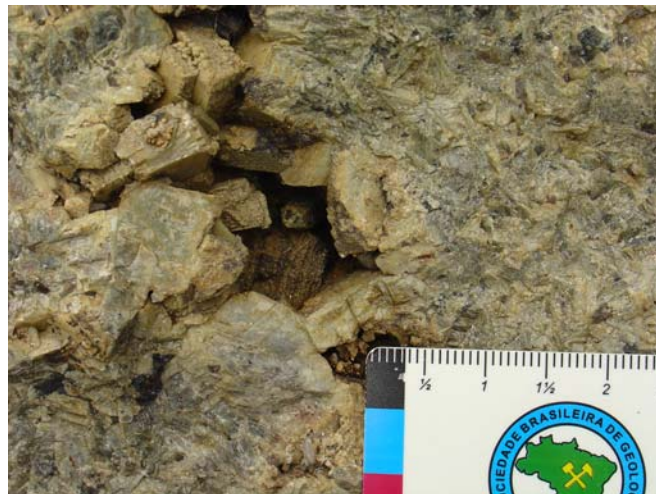


Foto 31 - Rocha pegmatóide contendo cavidades com cristais centimétricos de feldspato



Foto 32 - Rocha pegmatóide contendo cavidades preenchidas por turmalinas

#### 7.2.11.7 - Cataclasitos e agmatitos

Duas ocorrências de rochas cataclásticas foram descritas por Vasconcellos(1991): uma nas imediações das brechas do Lajeado e outra nos limites com as brechas na porção sul da intrusão. Ocorrem próximos a lineamentos NE-SW e junto às bordas das chaminés. São rochas de granulação grossa, constituídas essencialmente de feldspato alcalino, bastante fraturadas e moderadamente alteradas. Seus limites com as demais litologias do complexo se mostram bruscos

Os agmatitos ocorrem nas bordas do complexo, no contato com as encaixantes, encontrando-se em alguns pontos, bastante intemperizados. Afloram em meia encosta e acham-se intensamente fraturados e apresentam presença de clastos angulosos em meio a uma matriz ígnea (Vasconcellos, 1991).

#### 7.2.1.2 - Brechas Vulcânicas

Essas rochas foram estudadas, descritas e classificadas por Vasconcellos(1991), que determinou sete ocorrências de brechas no complexo, sendo quatro no Lajeado (Lajeado 1, 2, 3, e 4), uma próxima ao Arroio Barro Vermelho, outra na região da Antena e outra na localidade do Barro Vermelho

No presente trabalho, uma outra ocorrência de brecha foi amostrada, na borda noroeste do complexo, em contato com os filitos da Formação Votuverava. Seguindo a nomenclatura adotada por Vasconcellos (1991), essa ocorrência será aqui denominada de Lajeado 5.

As brechas vulcânicas ocupam 10% do complexo e ocorrem em meia encosta ou em vales (abaixo de 950 m). São constituídas por rochas de matriz fina, feldspática, envolvendo parcial ou completamente fragmentos de composições diversas. De maneira geral as brechas possuem matriz muito fina, chegando, às vezes, a criptocristalina, contudo a textura pode se mostrar traquítica, com estrutura de fluxo (Lajeado 1 e 2 ), granular, microssienítica (Lajeado 4 e Arroio Barro Vermelho), ou ainda criptocristalina vitrificada (Lajeado 3, Antena e Barro Vermelho). Na matriz dessas rochas são caracterizados feldspatos de composição variável,

desde alcalinos (100% de  $K_2O$  ou 100% de  $Na_2O$ ) até plagioclásios com composição entre albita e andesina. Os piroxênios situam-se geralmente no campo da augita (Vasconcellos & Gomes, 1992).

A matriz envolve parcial ou completamente os clastos, de composições diversas, que são definidos como:

acessórios: oriundos das rochas alcalinas encaixantes;

acidentais : de rochas metassedimentares e metaígneas encaixantes do complexo;

essenciais: constituídos por fenocristais de feldspato, piroxênio e biotita.

Texturalmente, as brechas se dividem em:

Suportadas por matriz: Lajeado 1, 2 e 4, Arroio Barro Vermelho e Antena

Suportadas por clastos: Barro Vermelho e Lajeado 3

Suportadas por clastos e matriz: Barro Vermelho e Lajeado 3.

As brechas do Lajeado 1 são rochas de matriz muito fina, envolvendo clastos angulosos a arredondados, de dimensões variadas, atingindo até 6 cm. A matriz é constituída principalmente de finos agregados de piroxênio e feldspato alcalino, associados à percolação de óxidos. Como acessório, destaca-se a apatita, além de opacos e argilominerais. Os clastos são compostos de traquitos, microssienitos e sienitos, além de metabasitos, piroxenitos, serpentinitos, biotita e mármore (Vasconcellos, 1991).

As brechas do Lajeado 2 distinguem-se das anteriores pela coloração mais clara, maior dificuldade na individualização dos clastos e por serem mais ricas em carbonatos (30%), que ocorrem em agregados muito finos, preenchendo fraturas. Apresentam grande quantidade de opacos e óxidos percolados, e apatita como acessório. Seus clastos são do tipo essencial, ocorrendo, no entanto clastos acessórios (traquitos) e acidentais (piroxenitos e anfibolitos) (Vasconcellos, 1991).

Diferenciando-se das anteriormente descritas, as brechas do Lajeado 3 possuem maior quantidade de clastos, que atingem dimensões superiores a 30 cm e formas variadas, tendo sido intensamente recristalizados (Foto 33). A matriz é afanítica, cinza escuro, de difícil caracterização, ocorrendo subordinada aos clastos, preenchendo os pequenos espaços entre eles, sendo formada por plagioclásios, feldspato alcalino, piroxênios, egiirina-augita e augita, biotita, carbonatos, opacos e acessórios como o zircão e apatita. Seus clastos podem ser essenciais (fenocristais



de feldspato), acessórios (traquitos, microssienitos, sienitos e bostonitos) e acidentais (filitos, quartzitos e mármore), sendo que predominam os de composição filítica (Vasconcellos, 1991).



Foto 33 – Afloramento de brecha vulcânica do Lajeado 3

Sob o ponto de vista ornamental, até o presente momento, essa constitui a principal ocorrência de brecha que apresenta potencial para ser aproveitada como rocha ornamental, tendo sido aberta uma frente de lavra experimental no afloramento, e o material dali extraído recebeu o nome comercial de “Andrômeda” (Foto 34 ).

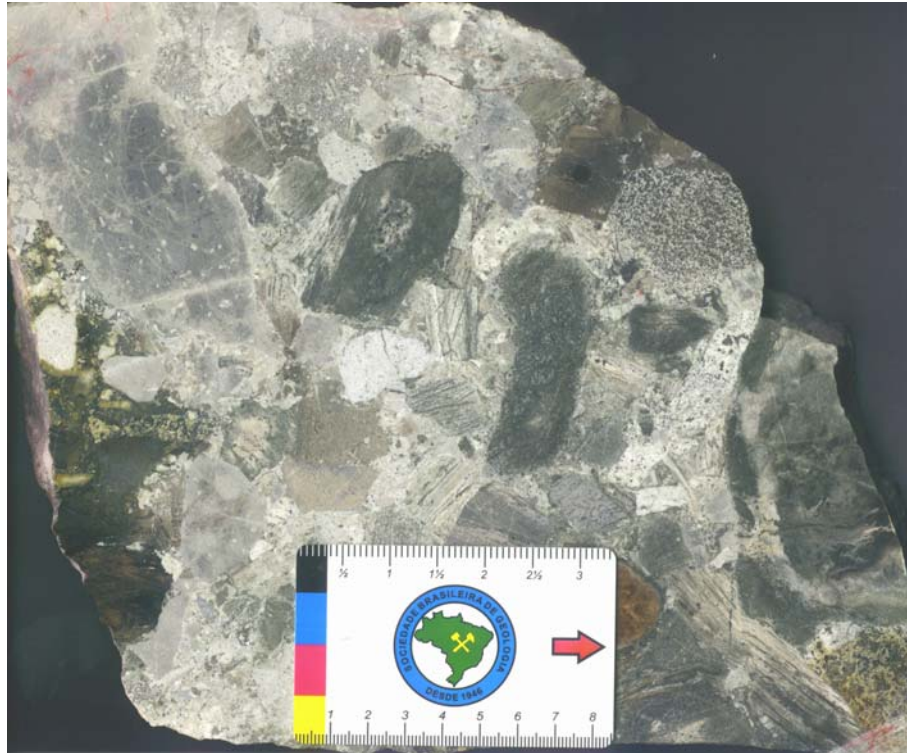


Foto 34 – Amostra polida de brecha do Lajeado 3, comercialmente denominada de Andrômeda

As brechas do Lajeado 4 apresentam matriz mais grossa que a anterior, exibindo coloração cinza escuro, com clastos milimétricos a centimétricos, que se destacam da matriz pela alteração superficial e maior resistência (Foto 35). Predominam os clastos essenciais, mas ocorrem clastos acessórios e acidentais. Dos clastos essenciais, os de feldspatos são mais abundantes. Os piroxênios formam clastos angulosos, envolvidos por biotita, apresentando zoneamento de natureza augítica. Possuem clastos de brechas mais antigas, cuja matriz apresenta a mesma composição daquela que a envolve: feldspato alcalino, albita, piroxênios e biotita em finos agregados (Vasconcellos, 1991).

O novo corpo de brecha (Lajeado 5) aqui citado, ocorre em afloramentos na porção extremo noroeste do complexo, também em contato com as rochas encaixantes. Parece se tratar da mesma ocorrência do Lajeado 3, o que não ficou bem definido, uma vez que seus contatos não puderam ser determinados em função da cobertura de sedimentos. As amostras coletadas apresentam as mesmas características da brecha Lajeado 3, possuindo porém uma quantidade maior de clastos de filitos e mármore, em matriz recristalizada. Apresenta grande beleza sob

o ponto de vista ornamental, justamente por possuir grandes clastos de filitos e mármore, exibindo bandas verdes e avermelhadas, podendo vir a se tornar um novo material a ser explorado comercialmente no complexo, caso ocorra em volume satisfatório (Foto 36 ).



Foto 35 – Amostra de brecha do Lajeado 4

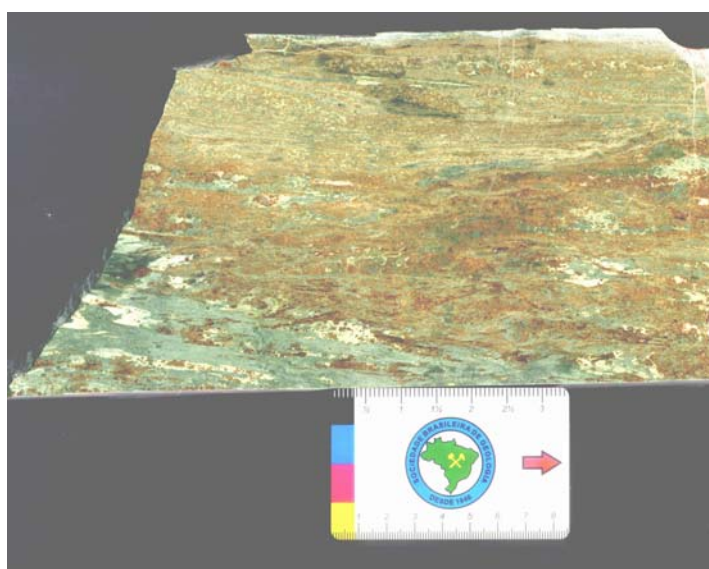


Foto 36 - Amostra polida de brecha de contato denominada de Lajeado 5



As brechas da Antena possuem matriz fina, de coloração cinza escuro, que envolve clastos milimétricos a centimétricos, de formatos diversos, destacando-se pela maior resistência ao intemperismo. Vasconcellos (1991) identificou nessas rochas, clastos essenciais (feldspatos e piroxênios), acessórios (sienitos, traquitos e microssienitos) e acidentais (filitos, quartzitos, piroxenitos, biotititos e micrograbros). Nessas brechas foram descritas ainda, ocorrências de pequenas cavidades arredondadas ou alongadas, preenchidas por serpentina e olivina, envolvidas por vidro, ou feldspato e piroxênio envolvendo serpentina, ou ainda olivina e biotita. Essas cavidades caracterizam um possível vesiculamento da matriz das brechas vulcânicas (Vasconcellos, 1991). Fazendo contato com a ocorrência dessas brechas, existe um afloramento de sienito pegmatóide.

As brechas do Arroio Barro Vermelho foram descrita por Vasconcellos (1991) apenas em seção delgada, uma vez que os afloramentos não são bem definidos. Apresentam matriz equigranular, com cristais médios de feldspato alcalino e finos de piroxênio, biotita e opacos. Possuem clastos essenciais de piroxênios e fenocristais de feldspato, e clastos acessórios formados por traquito.

As brechas da localidade do Barro Vermelho afloram na borda nordeste do maciço, em contato com um outro afloramento de sienito pegmatóide. Contém grande quantidade de clastos acidentais (filitos e quartzitos) das encaixantes de tamanhos variados (Foto 37). Apresentam matriz fina, de coloração cinza claro a escuro, composta de feldspato alcalino xenomórfico, piroxênio (augita) em finos agregados, opacos e, subordinadamente, vidro vulcânico. Atualmente a empresa Próton Participações Ltda, vem executando trabalhos exploratórios visando o aproveitamento dessas brechas como rocha ornamental. O material extraído vem sendo ensaiado, tendo apresentado aspecto ornamental que permite sua comercialização. Provisoriamente essa rocha recebeu a denominação comercial de “Vulcanos”.

Segundo Vasconcellos (1991), as brechas vulcânicas do Complexo de Tunas são classificadas como sendo subvulcânicas de conduto, do tipo intrusiva e tufisítica. Foram formadas em estágios tardios da colocação das demais rochas do complexo, contendo fragmentos das rochas alcalinas e encaixantes. Originaram-se em uma única fase, com pelo menos dois estágios diferentes de fluidização. O primeiro estágio teria formado as brechas com clastos acessórios e fenocristais,

presentes no centro do complexo, enquanto que o segundo estágio engloba as rochas anteriores e os clastos acidentais, formando brechas de maiores dimensões.



Foto 37 – Alforamento de brecha na localidade do Rio Barro Vermelho

### 7.3 – FORMAÇÃO DO COMPLEXO

Gomes *et al.* (1987) relacionaram a formação do complexo a processos de diferenciação de magmas gábricos alcalinos por cristalização fracionada, a partir de magmas parentais álcali-gabróicos a álcali-sieníticos, propondo para essas rochas a seguinte sequência evolutiva (Fig 11 ):

- geração inicial de gabros e monzogabros;
- geração de dioritos e monzodioritos;
- formação de sienitos e sienitos alcalinos;
- formação de diques alcalinos
- dois estágios de colocação das brechas vulcânicas.

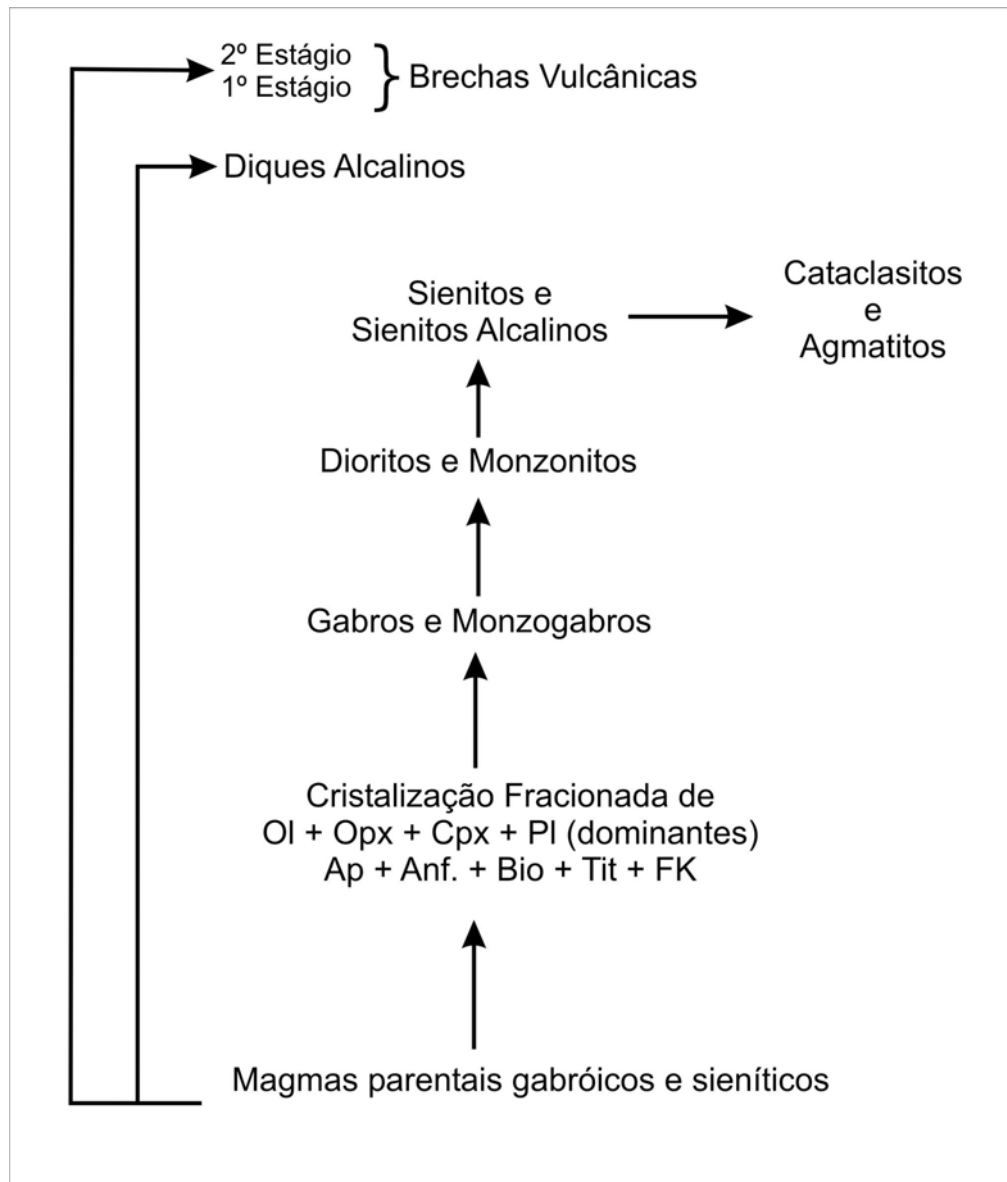


Figura 11 – Seqüência de formação das rochas do complexo de Tunas, com base nos dados de Gomes *et al.* (1987). Modificado de Vasconcellos (1991).

## 8 – APECTOS FACIOLÓGICOS DOS SIENITOS ORNAMENTAIS DE TUNAS

### 8.1- METODOLOGIA DO MAPEAMENTO

Diferentemente das rochas sedimentares, que possuem Códigos Estratigráficos nacionais e internacionais com critérios próprios de definições de suas unidades, as rochas ígneas plutônicas não obedecem aos *princípios estratigráficos*, tais como o de continuidade lateral ou o de superposição; a exceção talvez única é a dos maciços intrusivos “estratiformes”, onde a superposição seqüenciada das bandas dos sedimentos ígneos, define uma clara estratigrafia interna (Ulbrich *et al.*, 2001).

O conceito de fácies foi introduzido em Sedimentologia, vem sendo utilizado com conotações variadas tais como:

- tipo petrográfico cujas feições provavelmente refletem as condições de formação;
- unidade mapeável circunscrita;
- conjunto característico de rochas que apresentam uma ou mais feições universalmente presentes na coluna geológica;
- biofácies, com conteúdo específico de fósseis;
- conjunto petrográfico formado e/ou depositado em determinado ambiente;
- tectofácies ou fácies paleogeográficas.

A todos estes significados, aplicáveis a rochas sedimentares, deve adicionar-se ainda o de fácies metamórfica, muito mais amplo, que define um conjunto variado de rochas metamórficas identificadas por associações minerais características e que engloba também, implicitamente, a definição das condições de cristalização, em termos de pressão e temperatura, permitindo ainda a subdivisão em “subfácies” (Bates & Jackson 1980; Fyfe & Turner 1966; Turner 1981, *apud* Ulbrich *et al.*, 2001).

Segundo Ulbrich *et al.* (2001), a definição de fácies petrográficas plutônicas não pode se afastar daquela utilizada para identificar o seu antecessor histórico, que é de fácies sedimentar. Deve-se, portanto, basear-se em parâmetros descritivos. Para esses autores, fácies petrográfica plutônica é a unidade litoestratigráfica informal de menor hierarquia que pode ser reconhecida e descrita, na amostra de

mão e no campo, pelas características mineralógicas, texturais e estruturais. Por ser a fácies plutônica a unidade de menor hierarquia, não cabe o estabelecimento de subunidades, como subfácies.

Baseando-se nessas premissas, percebe-se que o conceito de fácies petrográficas plutônicas se aplica perfeitamente à caracterização das rochas do Complexo Alcalino de Tunas, uma vez que as mesmas apresentam mudanças de coloração, textura e estrutura, bem como de mineralogia, por variações na distribuição e quantidade de minerais essenciais e acessórios.

Assim, empreendeu-se um mapeamento faciológico expedito no Complexo de Tunas, tendo como foco de estudo as rochas ornamentais, utilizando-se os seguintes critérios estabelecidos por Ulbrich *et al.* ( 2001):

- a escala utilizada para representar a unidade mapeável plutônica foi de 1:10.000, em função das variações faciológicas encontradas no complexo;
- o mapeamento teve início com uma rápida familiarização das variedades petrográficas presentes no complexo, seguidas de uma distinção preliminar das variedades ornamentais ali existentes;
- a seguir empreendeu-se uma amostragem dessas variedades ornamentais, acompanhada da localização das mesmas por georreferenciamento e projeção no mapa topográfico e geológico;
- as amostras foram macroscopicamente analisadas, sendo classificadas e agrupadas segundo sua cor e textura;
- através do levantamento das características macroscópicas e dos resultados obtidos com as análises petrográficas e geoquímicas das rochas, foi possível estabelecer a identificação das fácies existentes no complexo, definidas segundo características comuns;
- as fácies assim definidas foram identificadas por designações informais, tendo sido escolhidos, propositadamente, nomes que reportam aos produtos comerciais mais comuns explorados, até o momento, no complexo;
- sobre o mapa topográfico e geológico base deste trabalho, foram identificadas as fácies então definidas, obtendo-se um mapa faciológico para as rochas ornamentais do complexo (Anexo 1 ).

Relevante se faz ressaltar que em função da dispersão e não continuidade dos afloramentos, bem como da espessa camada de capeamento que cobre os

afloramentos, os contatos entre as fácies plutônicas aqui definidas, foram inferidos, por fotointerpretação, devido a impossibilidade de se determinar com maior precisão esses limites.

## 8.2 – DIVISÃO FACIOLÓGICA

Um dos problemas enfrentados na distinção das variedades ornamentais, para um posterior agrupamento em fácies, foi o da caracterização da cor de cada rocha. Principalmente para os sienitos verdes, a precisa diferenciação cromática entre cada uma das espécies ornamentais fica comprometida, devido à sutileza com que essa variação ocorre, mesmo para amostras coletadas em um mesmo afloramento. Assim, optou-se pela definição das cores utilizando-se um padrão aceito e recomendado pela Associação Norte Americana de Normas: a classificação de cores de Munsell.

O sistema Munsell é definido em termos dos valores de matiz, valor (brilho) e croma (saturação). A determinação das cores nesse sistema normalmente é feita por comparação visual com uma série de padrões contidos na carta de Munsell, onde as mesmas são traduzidas em dados numéricos, de modo a poderem ser descritas de maneira consistente e padronizada

Assim, utilizando-se de um gabarito de cores, denominado Rock Color Chart (Goddard *et al.*, 1984), a cor de cada amostra foi comparada com os padrões especificados pela ISCC-NBS (Inter Society Color Council – Nation Bureau of Standards), contidos na carta, e referidas segundo os códigos alfa-numéricos ali encontrados (Quadro 3).

Seguindo os critérios petrográficos e geoquímicos, aliado a classificação por cor, foram definidas quatro fácies plutônicas, constituídas pelos seguintes materiais comerciais:

QUADRO 3 – Divisão faciológica em função da coloração das rochas

FÁCIES	Nome Comercial da Rocha	Índice de Cor de Munsell
<b>Verde Tunas</b>	Verde Tunas (Clássico e Veiado)	5Y 3/2
	Verde Tunas Light	5GY 3/2
	Verde Paraná	10GY 3/2
	Verde Leopardo	5GY 4/1
	Jade Cristal	10Y 4/2
	Verde Floresta	10Y 5/2
<b>Boreal</b>	Verde Boreal	5Y 5/1
	Prata Boreal	5G 7/1
	Damasco	5YR 6/1
	Tunas White	5GY 7/1
<b>Verde Mar</b>	Verde Mar (Jade Imperial)	5GY 6/1
	Prata Mar/ Cinza Mar	5B 7/1
	Prata (Moonlight)	5B 7.5/1
<b>Pegmatóide</b>	Sea Foam Green	10 GY 5/2

### 8.3 - FÁCIES VERDE TUNAS

Esta fácies engloba os seguintes materiais comerciais: Verde Tunas Clássico (*Tunas Green Classic*) e sua variedade venulada (*Tunas Green Veined*), Verde Tunas Light (*Tunas Green Light*), Verde Paraná (*Paraná Green*), Verde Leopardo (*Leppard Green*), Verde Floresta (*Forest Green*) e Jade Cristal (*Crystal Jade*).

Além das variedades de coloração verde, citadas, ocorrem outras que, por não se encontrarem em fase de lavra, não recebem denominação comercial que as diferencie das demais. Neste trabalho elas foram apenas amostradas, sendo aqui citada a sua localização, sem, no entanto, descrevê-las mais detalhadamente, mas procurando estabelecer uma relação com as demais, uma vez que pelas suas características, se encaixam na fácies Verde Tunas.

No mapeamento constatou-se que essa fácies ocorre geralmente nas extremidades das cristas das estruturas subvulcânicas anelares, sob a forma de matacões, nas porções norte, norte-nordeste, central, centro-sudoeste e leste do complexo. Procurou-se também, com o mapeamento, observar as altitudes em que essas rochas ocorrem, correlacionando-as com as ocorrências das demais



variedades ornamentais.

Nas pedreiras onde são extraídos os materiais que constituem essa fácies, verifica-se variação lateral do material, principalmente no tocante à coloração e textura, dando origem a diferenciações nas denominações comerciais.

As rochas da fácies Verde Tunas apresentam coloração verde escura a verde amarelada, textura equigranular a inequigranular, estrutura maciça ou fraturada, e granulação média a grossa. Classificadas como álcali-feldspato sienitos, são compostas por feldspatos alcalinos em proporções que variam de 59% (Verde Leopardo) a 80% (Verde Paraná), com dimensões médias em torno de 10 mm de comprimento, hábito tabular, podendo apresentar, em algumas variedades, intercrescimento pertítico. Esses feldspatos exibem um grau incipiente de alteração para argilominerais, e inclusões de zircão e apatita. Em algumas variedades, como o Verde Leopardo, ocorre o plagioclásio em quantidades próximas a 10%.

A quantidade de máficos varia de 8 a 20%, sendo estes representados por anfibólios, piroxênios, finas lâminas de biotita e sulfetos. A egirina é o piroxênio mais abundante em variedades como Verde Tunas Light (10%) e Jade Cristal (10%), enquanto que a variedade Verde Tunas pode apresentar até 10% de augita. Os piroxênios apresentam dimensões de média a grossa, contendo inclusões de opacos e apatita, podendo, em algumas variedades, apresentar alterações para hidróxido de ferro.

Os anfibólios podem chegar a 15% da rocha, sendo, em sua maioria, classificados como riebeckita, que apresenta hábito anédrico, granulação variando de média a grossa, e inclusões de opacos. Na variedade Verde Tunas Light a riebeckita ocorre como inclusão nos feldspatos potássicos. O Verde Leopardo apresenta o anfibólio richterita em quantidade de 15%, possuindo hábito anédrico, granulação grossa e inclusões de apatita e opacos. A olivina (faialita) também se faz presente em algumas amostras de Verde Tunas e Jade Cristal, em quantidades que chegam a 8%, apresentando granulação média à grossa e alteração superficial para hidróxido de ferro.

A biotita ocorre em pequenas quantidades, variando de traços a 10%. Apresenta-se na forma de lamelas, quase sempre resultantes da alteração de anfibólios.

Como acessórios ocorrem a apatita e o zircão, sempre encontrados como

inclusões nos feldspatos potássicos. Ocorrem também, magnetita e opacos, argilo-minerais resultantes da alteração dos feldspatos, além de carbonatos (de traços a 3%) de granulação média encontrados entre os cristais dos anfibólios.

A tabela 2 apresenta um resumo das características mineralógicas de algumas rochas dessa fácies:

Tabela 2 – Mineralogia das rochas da fácies Verde Tunas

Mineralogia (%)	Variedades Ornamentais				
	Verde Tunas	Verde Tunas Light	Verde Paraná	Verde Leopardo	Jade Cristal
K_Feldspato	80	64	80	59	80
Plagioclásio	-	5	-	10	Traços
Piroxênios					
Augita	-		5	Traços	
Egirina	-	10	-	-	10
Anfibólios			-	-	
Riebeckita	10	5	8	-	5
Richterita	-	-	-	15	-
Olivina	-	-	-	-	5
Biotita	Traços	-	-	-	Traços
Apatita	Traços	-	-	Traços	Traços
Zircão	Traços	-	Traços	-	Traços
Quartzo	2	10	-	8	-
Argilo-minerais	2	3	3	3	-
Carbonatos	3	-	-	-	Traços
Opacos	2	3	3	5	Traços

### 8.3.1 – Verde Tunas Light

Partindo-se da primeira estrutura subvulcânica, na porção oriental do corpo, encontra-se o material denominado Verde Tunas Light (TP-10), lavrado numa pedreira de propriedade da Marmoraria Água Verde, próximo à cachoeira do Rio Ouro Fino, na estrada Tunas - Anta Gorda. A denominação “Light” dessa variedade do Verde Tunas, dá-se devido à coloração mais clara que o material possui em relação ao padrão clássico, além de não apresentar as venulações tão marcantes, que o caracterizam (Foto 38). Nessa pedreira, o material de coloração verde mais intenso ocorre na porção interna da extremidade de uma estrutura sub-vulcânica,

passando para um material de coloração mais acinzentada na porção externa, já no contorno do complexo.

Analisando o revestimento de antigos prédios do centro de Curitiba, acredita-se que este tenha sido o primeiro material do complexo, comercialmente explorado com o nome de Verde Tunas.

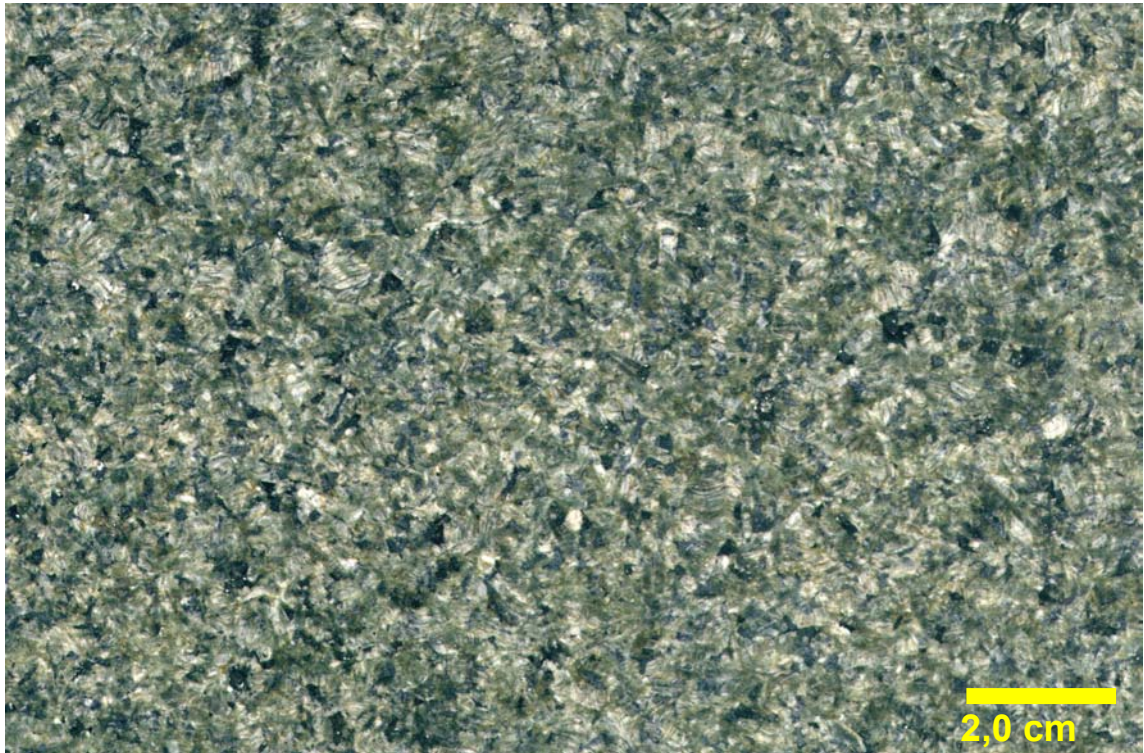


Foto 38 – Ladrilho de Verde Tunas Light.

Mineralogicamente, essa variedade apresenta uma porcentagem maior em piroxênios e menor em anfibólios do que o Verde Tunas. Outra característica que diferencia o “Tunas Light” da variedade clássica é a existência de quartzo em sua composição, em torno de 10%, ocorrendo em finos cristais, que se encontram preenchendo fraturas

Outro aspecto que distingue o Verde Tunas Light dos principais materiais comercializados dessa fácies, é a altitude em que esse material é encontrado: entre as cotas 780 e 835 m. Esse fato pode estar associado à formação do complexo, uma vez que ele ocorre na primeira estrutura formada.

Ainda na mesma estrutura subvulcânica, na margem direita do Rio Ouro Fino, afloram outras duas variedades sieníticas de coloração verde escuro, não se

encontrando, até o presente momento, em fase de lavra. Uma dessas variedades, de coloração mais clara, denominada de Verde Jararaca (TP-84), foi descrita por Di Giorgio (2003). Ocorre entre as cotas 830 e 850 m, que como o Verde Tunas Light, encontram-se muito abaixo do nível onde normalmente são encontradas as rochas dessa fácies. Essa rocha apresenta cristais de feldspato de granulação grosseira, em porcentagem de 85%, tendo suas superfícies pertitizadas e muito alteradas (Foto 39).

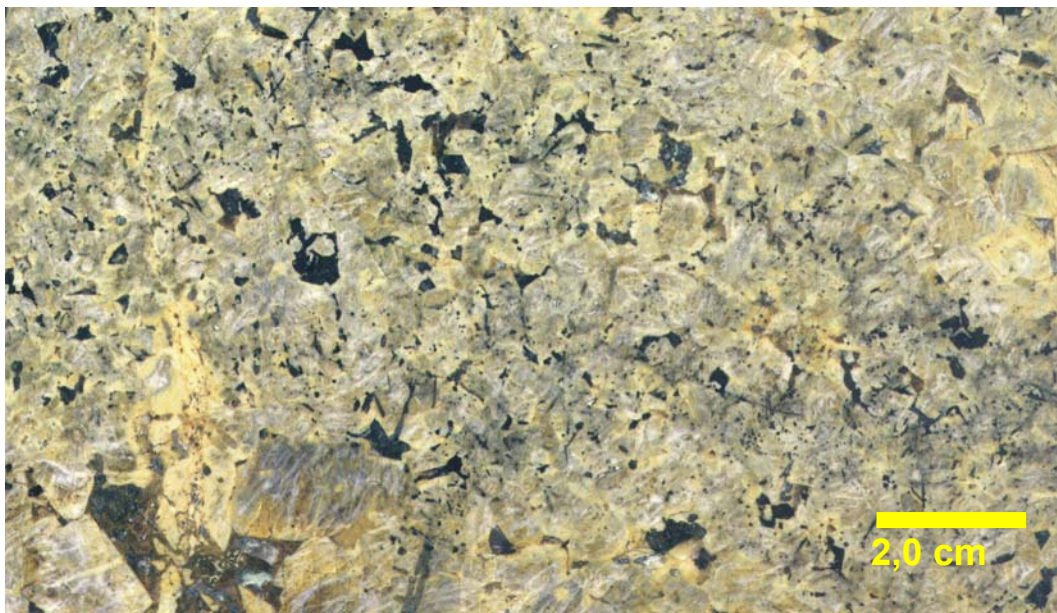


Foto 39 – Amostra polida de “Verde Jararaca”.

Rumando-se para leste, ainda na primeira estrutura, encontra-se a outra variedade verde (TP-86), mais escura que a anterior, porém de granulação mais fina. Repetindo o padrão observado para as rochas dessa fácies, ela ocorre na extremidade da estrutura anelar, entre as cotas 920 e 935 m.

Um pouco mais a sul da pedreira do Verde Tunas Light, a Aco Mineração recentemente abriu uma frente de lavra, de onde vem retirando um sienito verde escuro, denominado “Ocean Green” (Foto 40 ), entre as cotas 870 e 885m. Apesar de se encontrar na porção externa da base da segunda estrutura subvulcânica do complexo, o afloramento parece pertencer a uma terminação de uma estrutura anelar da primeira chaminé, provavelmente sobreposta pela segunda. Por sua coloração verde escura, esse material pode ser incluído na fácies Verde Tunas.



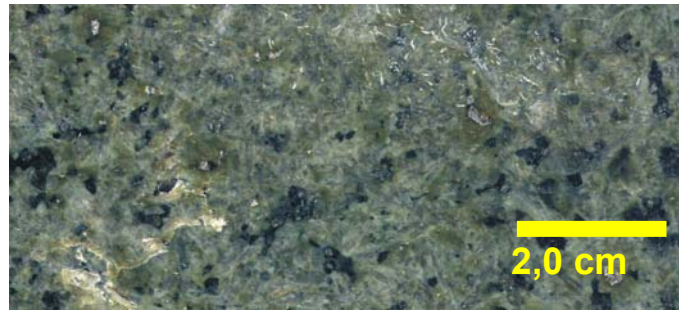


Foto 40 - Amostra polida de “*Ocean Green*”.

### 8.3.2 – Verde Floresta

Na porção interna da extremidade de uma borda da segunda estrutura subvulcânica, ocorre uma rocha de coloração verde (TP-34), mais claro que as demais variedades, denominada comercialmente de Verde Floresta (Foto 41), podendo se enquadrar como um material intermediário entre a Fácies Verde Tunas e Fácies Boreal. Pelas características físicas e, principalmente, geoquímicas, essa rocha foi classificada como pertencente à Fácies Verde Tunas. Essa rocha é encontrada numa frente de lavra abandonada, entre as cotas 960 e 970 m, onde era lavrada em matacões. É formada por 84% de feldspatos, 6% de piroxênios, 3% de anfibólios, traços de opacos e apatita. Na mesma estrutura, à medida que se atingem cotas mais elevadas a coloração da rocha vai mudando, variando do verde ao cinza claro, assumindo então a feição do Verde Boreal, Prata Boreal e, em seguida, do Damasco, pertencentes à fácies Boreal.

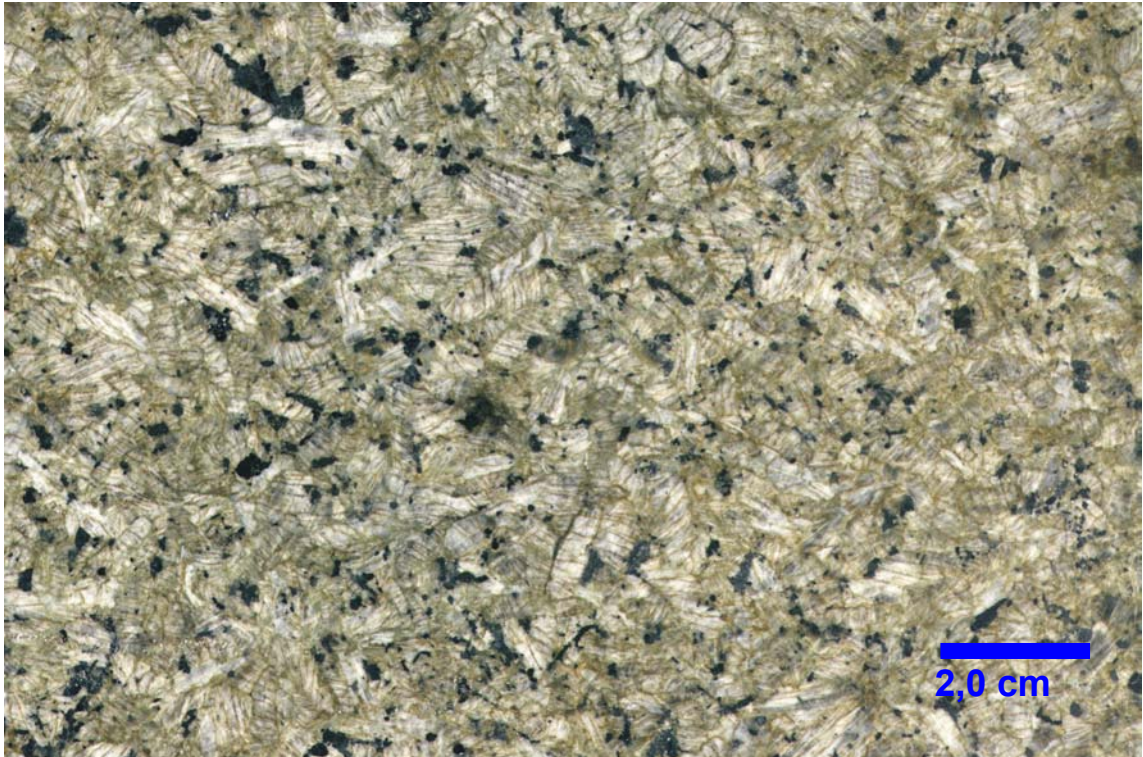


Foto 41 – Ladrilho de Verde Floresta.

### 8.3.3 – Verde Paraná

Da mesma forma que as anteriores, na extremidade de uma estrutura anelar da terceira chaminé vulcânica, aflora outra variedade verde escura da fácies Verde Tunas, comercialmente denominada de Verde Paraná (Foto 42), sendo lavrada pela empresa Mica Mineração Capuava em sociedade com a Paraná Granitos e a SEPAMAR (TP-78).

Também nessa pedreira se verifica uma variação de coloração do material, da borda para o centro da estrutura. O material de coloração verde mais intenso (chamado de Tunas Green Dark) encontra-se na extremidade mais interna da estrutura, e à medida que se desloca para a borda, na porção mais à direita da lavra, o material vai se tornando mais claro, passando a ser denominado de Verde Paraná (Paraná Green), chegando até a uma variedade mais clara, denominada Verde Tunas Light.

Relevante se faz observar que variedades denominadas “Ligth” lavradas tanto pela Marmoraria Água Verde quanto pela Mica Mineração Capuava,



apresentam, entre si, variação de tonalidade, sendo a da primeira ligeiramente mais escura que a da segunda .

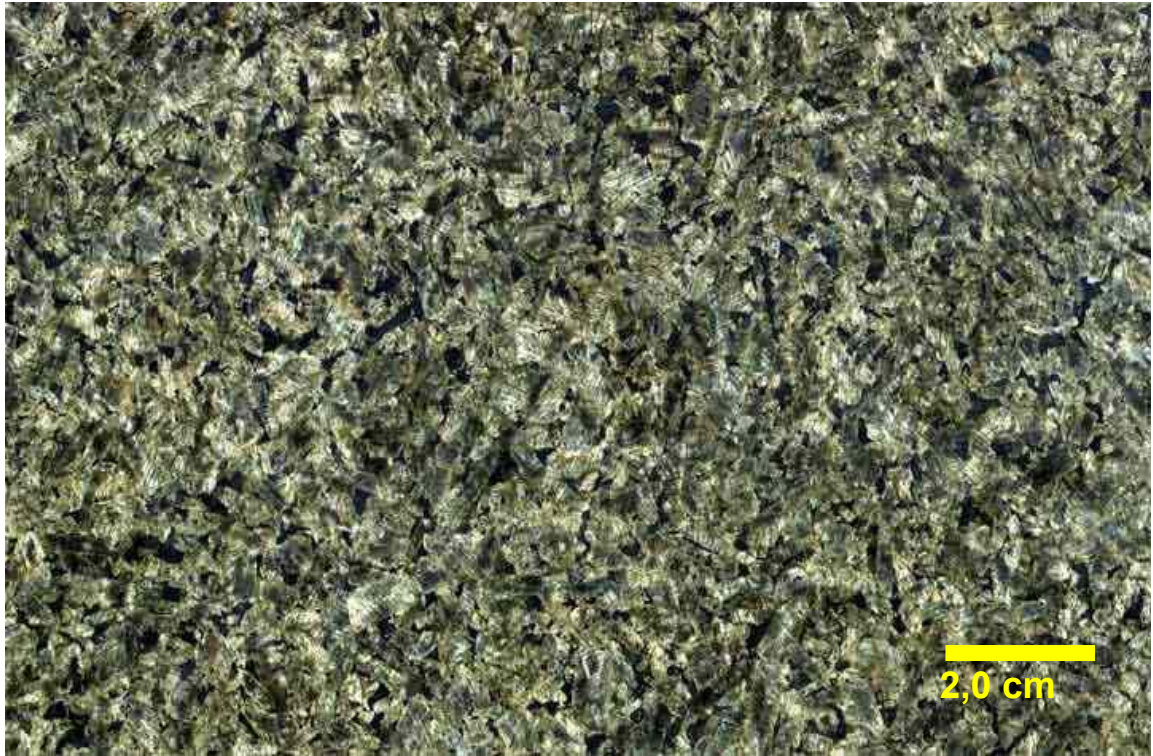


Foto 42 – Ladrilho de Verde Paraná.

O sienito Verde Paraná é a variedade da fácies Verde Tunas que atinge as cotas mais elevadas (970 a 1030 m). Sua coloração é um pouco mais clara que o Verde Tunas Clássico e a sua lavra se processa em grandes matacões, que por vezes apresentam-se cortados por diques de microssienito. Apresenta granulação grossa, textura hipidiomórfica, composta por feldspatos alcalinos de dimensões variando de 1 a 5 mm.

#### 8.3.4 – Verde Tunas

Rumando para norte, seguindo a BR-476, são encontradas as pedreiras de onde se extraem a mais conhecida e valorizada variedade ornamental do complexo : o sienito Verde Tunas (Fotos 43 e 44).

Na extremidade de uma estrutura anelar, provavelmente pertencente à

quarta chaminé subvulcânica, essa variedade comercial vem sendo explotada numa pedreira de propriedade da empresa Fomento de Mármore e Granitos Ltda (Indústrias Baú), na margem esquerda da BR-476. Esta é a ocorrência mais centralizada no complexo, dos sienitos de coloração verde escuro, uma vez que as demais se distribuem na periferia do corpo. O Verde Tunas BAU (TP-17), é encontrado entre as cotas 915 e 950 m, sendo lavrado em matacões, seguindo o padrão dos demais afloramentos desse material.

Um pouco mais a frente, na margem direita da rodovia após a ponte sobre o Rio Barro Vermelho, encontra-se um afloramento de outra variedade sienítica de coloração verde escuro (TP-29), ainda na mesma estrutura da anterior. Trata-se de uma pedreira abandonada, onde a rocha apresenta as mesmas características do Verde Tunas explotado na Pedreira BAU. Esse afloramento acha-se muito fraturado, o que provavelmente foi a causa de sua paralisação.

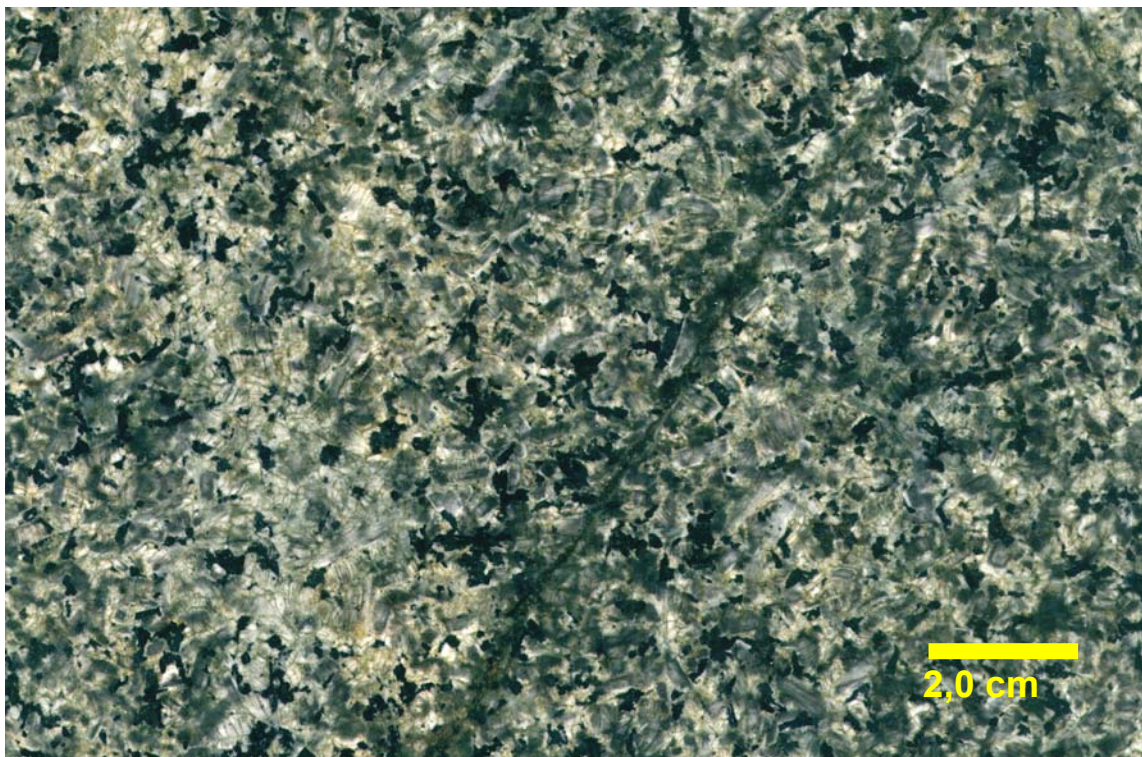


Foto 43 – Ladrilho de Verde Tunas Clássico.



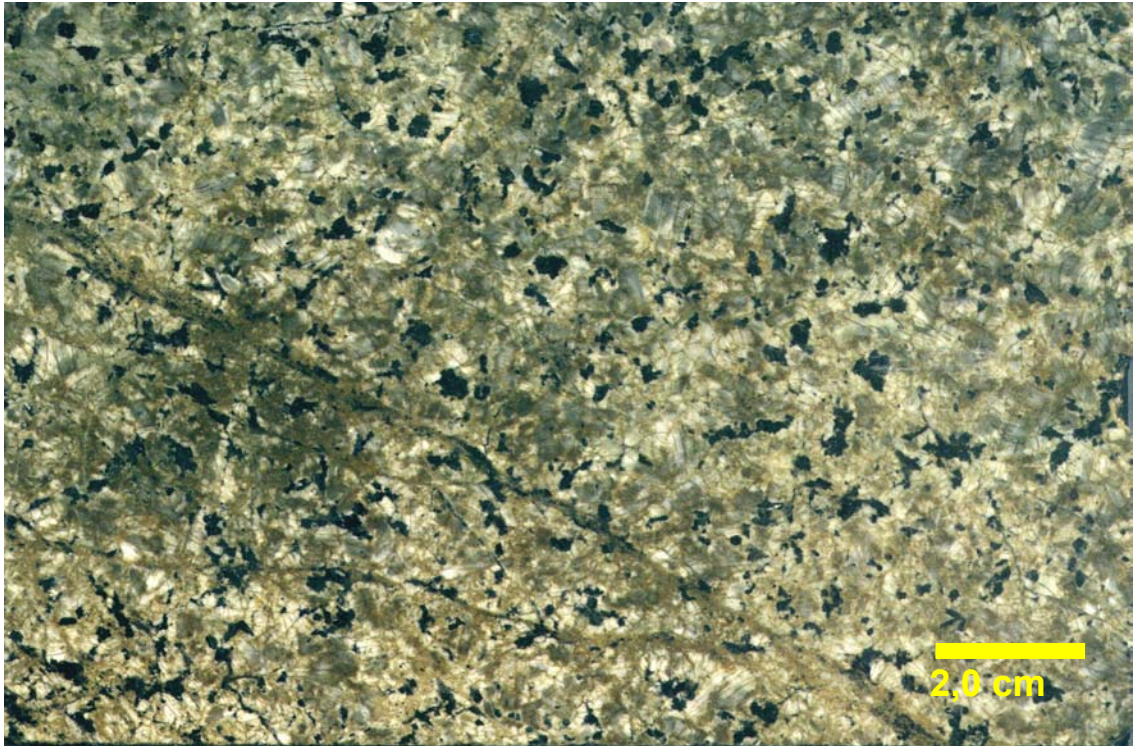


Foto 44 – Ladrilho de Verde Tunas Claro.

Ainda na mesma estrutura, um pouco mais à frente, já na margem esquerda da rodovia, encontra-se outro afloramento de Verde Tunas, explotado pelas empresas Paraná Granitos e Próton (TP-29, 81 e 82). Também nessa ocorrência, o sienito é lavrado em pequenos matacões, dispersos em um depósito tipicamente coluvial entre as cotas 910 e 955 m. A coloração da rocha é verde intenso, e o material apresenta venulações.

Logo à frente, à esquerda da rodovia, encontra-se a Pedreira da Marmoraria Água Verde, já na extremidade de uma estrutura anelar da quinta chaminé subvulcânica. Nessa pedreira, o sienito Verde Tunas (TP-9) ocorre entre as cotas 950 a 1010 m, sendo lavrado em matacões, por explosivo e por corte com fio diamantado.

Nessa frente de lavra, o que chama a atenção é a grande quantidade de venulações que a rocha apresenta, valorizando esteticamente o material. Essa variação venulada do Verde Tunas deve-se à presença de veios de microssienito de diferentes espessuras, granulações e coloração, além de finas fraturas preenchidas por material máfico, feldspatos e argilominerais, dando ao material um padrão ornamental distinto. As chapas polidas dessa variedade exibem a diversidade de

processos a que estiveram sujeitas essas rochas, quando da sua formação, exibindo injeções de material de diferentes composições e a movimentação desses, ainda em estado plástico (Foto 45 ).

Nessa pedreira, como nas demais dessa fácies, verifica-se a variação de cor e textura da rocha. No caminhamento lateral para a direita da frente de lavra, já na parte externa da estrutura, o material assume uma tonalidade de verde mais claro, recebendo a denominação de Verde Leopardo.



Foto 45 – Chapa de Verde Tunas exibindo a complexidade de eventos a que o material esteve sujeito.

Um pouco mais à frente, ainda na mesma estrutura, dirigindo-se para a região do Lajeado, encontra-se uma outra ocorrência de Verde Tunas (TP-48), à direita da estrada. Esse afloramento encontra-se na parte inferior de um paredão rochoso, na cota 960 m, tendo sido lavrado pela Sepamar. Na parte superior dessa estrutura, a coloração da rocha muda para cinza, enquadrando-se na fácies Verde Mar.

#### 8.3.5 – Verde Leopardo

A principal característica, que distingue o Verde Leopardo do Verde Tunas clássico, é o zoneamento apresentado pelos feldspatos, dando-lhes colorações



diferentes, que em contraste com os máficos, fornece à rocha um padrão de pintas, como a pele de um leopardo, daí seu nome (Foto 46 ). Também são encontradas variedades de coloração mais clara dessa rocha, sob a forma de injeções cortando o Verde Tunas o que pode ser observado em chapas polidas.

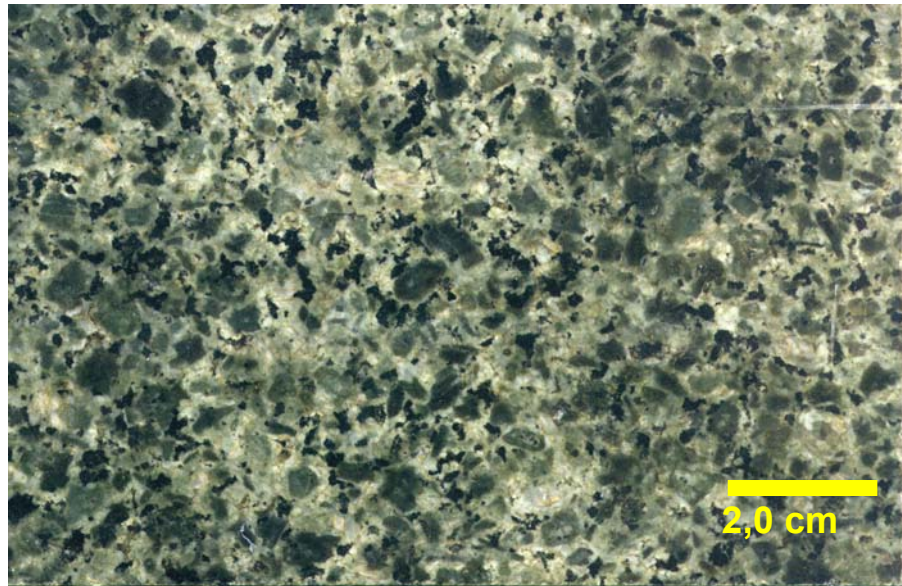


Foto 46 – Ladrilho de Verde Leopardo.

Essa variedade ornamental diferencia-se petrograficamente do Verde Tunas pela sua menor quantidade de feldspato potássico (em torno de 58%) e pela ocorrência de richterita (Fig.12) em torno de 15%, possuindo hábito anédrico, granulação grossa e inclusões de apatita e opacos.

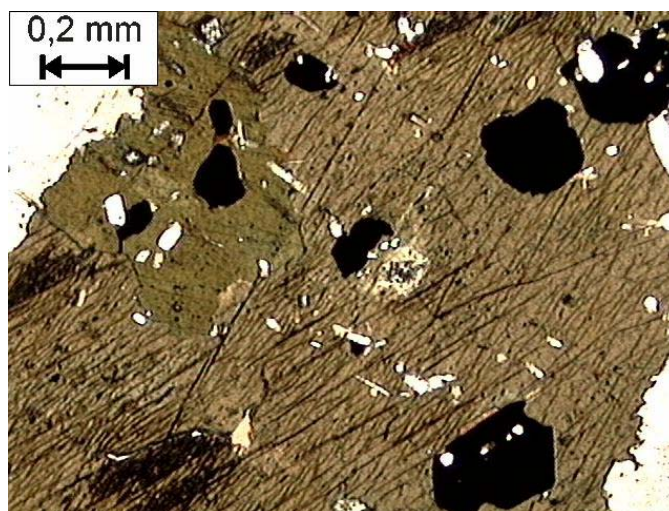


Figura 12 – Fotomicrografia exibindo cristais de richterita em Verde Leopardo (luz natural).

O quartzo é encontrado nessa variedade ornamental, na quantidade de 8%, sendo xenomórfico, intersticial, ocorrendo entre os feldspatos.

Como acessórios, a rocha apresenta finos cristais de apatita inclusos nos feldspatos potássicos e anfibólios. Argilominerais (3%) resultantes da alteração dos feldspatos, além de traços do piroxênio egirina-augita, são encontrados nos núcleos dos anfibólios.

Na porção norte do complexo, na borda leste da última estrutura subvulcânica, aflora uma variedade sienítica verde (TP-2), encontrada no interior de uma trincheira, aberta pela mineração Granibarras. Em amostra de mão percebe-se que a rocha apresenta acentuada variação de cor, sendo por vezes verde escura, com granulação mais grossa, passando a um verde mais claro, semelhante ao Verde Leopardo e assumindo também uma coloração verde amarelada mais alterada. Ocorrem também porções de coloração verde escuro e textura mais fina. A rocha encontra-se muito fraturada, sendo atravessada por veios de microssienito.

#### 8.3.6 - Jade Cristal

Apesar de não estar sendo lavrada atualmente, esta variedade ornamental do Verde Tunas é encontrada na parte norte do complexo (TP-39), na borda da 5ª estrutura subvulcânica, na cota 900m, na margem direita do Rio São Domingos. Ocorre sob a forma de grandes matacões e apresenta uma coloração verde intenso, por vezes com tons amarelados, de rara beleza ornamental.

É constituída por 80% de feldspato alcalino, de granulação média a grossa, hábito subédrico a anédrico, com intercrescimento cripto a mesopertítico (Foto 47). Em menor proporção ocorrem cristais de granulação mais fina, anédricos, intersticiais aos cristais maiores. Os feldspatos apresentam fraturas preenchidas por óxidos de ferro de coloração alaranjada. Sua alteração é incipiente, definida pela argilização dos cristais e incipiente sericitização. Os feldspatos apresentam inclusões de zircão.

O piroxênio presente é egirina (10%), de granulação média a grossa, anédrico a subédrico, ocorrendo intersticialmente aos feldspatos. Os cristais são de



coloração verde intenso, apresentando zoneamento, sendo verde mais claro no núcleo e mais escuro nas bordas. O fraturamento é moderado, sendo preenchido por óxidos de ferro. Bordas de reação são comuns, passando a riebequita (Figura 13). Observam-se inclusões de apatita e biotita.

A faialita (5%) ocorre em cristais com núcleos intensamente oxidados passando a iddingsita, intersticiais aos feldspatos (Figura 14). Mostra-se, por vezes, totalmente oxidada, associada a minerais opacos e/ou riebequita. Ocorrem também traços de iddingsita, sob a forma de agregados de coloração alaranjada, ao redor dos núcleos de faialita.

Subordinadamente ocorre a biotita em pequenos cristais subédricos a anédricos, inclusos em egirina ou formando agregados envolvidos por opacos ou envolvendo-os. Da mesma forma, ocorrem os opacos, em secções octogonais, associados a egirina, riebequita e faialita. Além disso ocorre também oligoclásio, em agregados associados a carbonatos; zircão incluso em feldspato; apatita em pequenos cristais hexagonais ou aciculares inclusos em egirina e riebequita, além de carbonatos, intersticiais aos feldspatos ou aos cristais de oligoclásio.



Foto 47 – Ladrilho de Jade cristal.

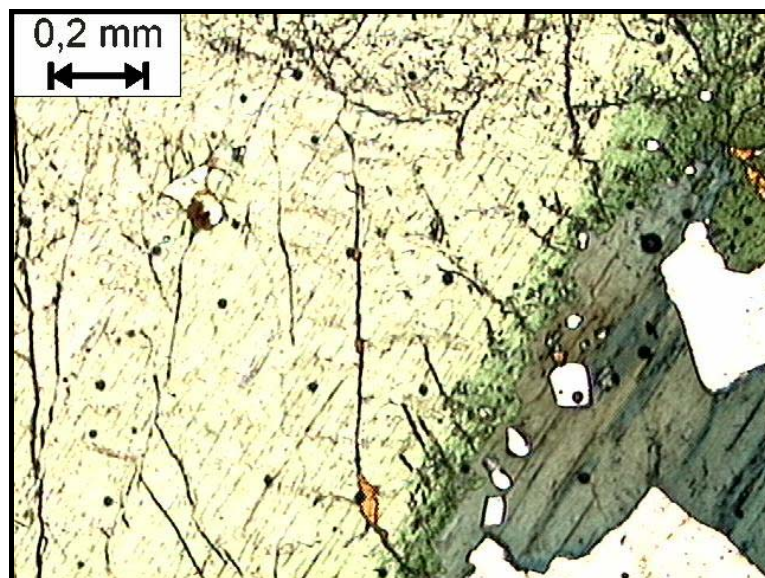


Figura 13 – Fotomicrografia de egirina passando a riebequita com inclusão de apatita, em amostra de Jade Cristal (Luz natural).

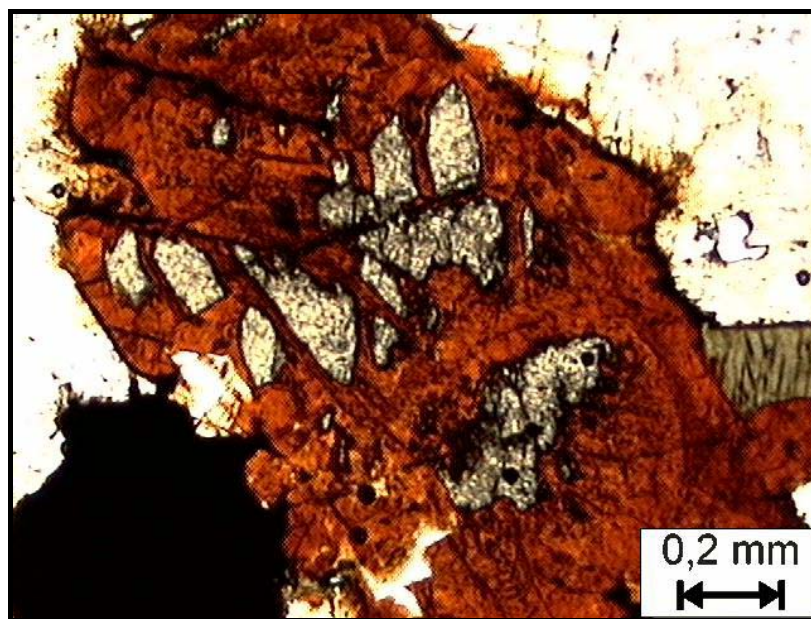


Figura 14 – Fotomicrografia de cristal de faialita oxidada passando a idingzita (luz natural).

#### 8.4 - FÁCIES VERDE MAR

Essa fácies é constituída por rochas de coloração cinza-azulada, cinza-esverdeado e cinza esbranquiçado. As variedades comerciais pertencentes a essa



fácies são: Prata Mar (Silver Sea), Verde Mar (Sea Green) e Prata (Moonlight) .

Todas as rochas que compõem a Fácies Verde Mar são lavradas em pedreiras localizadas na 5ª estrutura subvulcânica, na porção N-NE do complexo, na localidade denominada Barro Vermelho - São Domingos. Nessa região, ao longo da Rodovia BR-476, podem ser vistos afloramentos dessa unidade faciológica, sob a forma de matacões em depósitos coluviais.

Ocorrendo lateralmente, na porção norte da mesma estrutura onde é lavrado o sienito Verde Tunas, a variedade comercial Verde Mar é encontrada em cotas que variam de 975 a 1070 m sob a forma de grandes blocos rochosos. Em cotas menores, (950 m) podem ser encontrados matacões desse fácies, constituindo depósitos coluviais. Observando fotos aéreas da região, bem como os afloramentos em campo, verifica-se que uma possível zona de falha separa as variedades Verde Tunas e Verde Mar (Foto 48).



Foto 48 : Provável zona de falha que separa as variedades Verde Tunas e Verde Mar

Também nessa estrutura percebe-se uma variação de coloração da rocha, à medida que se atingem cotas maiores. Na cota 1050m, aflora uma variedade cinza mais claro, onde o material recebe a denominação comercial de Prata Mar (TP-6). Mais acima, na cota 1070 m, a rocha assume uma coloração cinza mais escuro, em

função da maior quantidade de máficos, que apresenta em relação a anterior, recebendo então a denominação comercial de Prata (*Moonlight*) (TP-8).

Classificadas como álcali-feldspato sienito, as rochas da fácies Verde Mar apresentam granulação média a grossa, sendo compostas por quantidades de feldspato potássico variando de 70% (Prata) a 81% (Jade Imperial), de hábito anédrico, de granulação média a grossa, intercrescimento pertítico, grau incipiente de alteração para argilomineral, contendo inclusões de opacos e piroxênios.

Os piroxênios, apresentam-se em quantidades que variam de 5%(Prata) a 15%(Verde Mar), ocorrendo em cristais de granulação grossa, com inclusões de opacos. Os anfibólios, que ocorrem em menor quantidade do que os piroxênios, variando de 5 a 10%, sendo representados pela richterita (Verde Mar) e hornblenda (Prata) com habito anédrico, granulação média e inclusões de opacos.

Os opacos situam-se em torno de 5% da rocha, apresentando hábito anédrico, granulação grossa, estando inclusos nos piroxênios e feldspatos alcalinos.

Como produto da alteração dos feldspatos potássicos, ocorrem argilominerais (3%) nas variedades Verde Mar e Jade Imperial. Secundariamente ocorrem carbonatos, quartzo em finos agregados além de acessórios como apatita e zircão.

A tabela 3 apresenta a composição das rochas dessa fácies:

Tabela 3 : Composição mineralógica das rochas da fácies Verde Mar

Mineralogia (%)	Variedades Ornamentais		
	Prata Mar	Verde Mar	Prata
K Feldspato	81	71	70
Plagioclásio	-	-	-
Piroxênios			
Egirina-augita	-	-	5
Egirina	10	15	-
Anfibólios			
Richterita	-	5	-
Hornblenda			10
Biotita	-	-	5
Apatita	-	traços	2
Zircão	-	-	-
Quartzo	traços	-	-
Argilo-min.	3	3	2
Opacos	5	5	5

#### 8.4.1 - Verde Mar

Essa variedade sienítica (TP-4) apresenta coloração verde claro acinzentado, podendo assumir a cor verde-amarelado, que recebe a denominação de Jade Imperial (Fotos 49 e 50). Apresenta uma quantidade menor de máficos que o Verde Tunas. Uma feição que chama a atenção nas chapas polidas desse material, são os bolsões de feldspatos centimétricos, aleatoriamente dispersos em meio à matriz feldspática mais fina, com quantidade escassa de máficos. Como outras rochas do complexo, é atravessada por veios de microssienito.

Essa variedade é explotada em um paredão rochoso, bem como em matacões que se destacam da rocha, encontrados em depósitos coluviais próximos da localidade onde ocorrem. A lavra desse material se dá através do corte por fio diamantado, seja pelo maior aproveitamento que se obtém, seja pelos preços que a rocha processada atinge, o que viabiliza esse tipo de método de lavra.

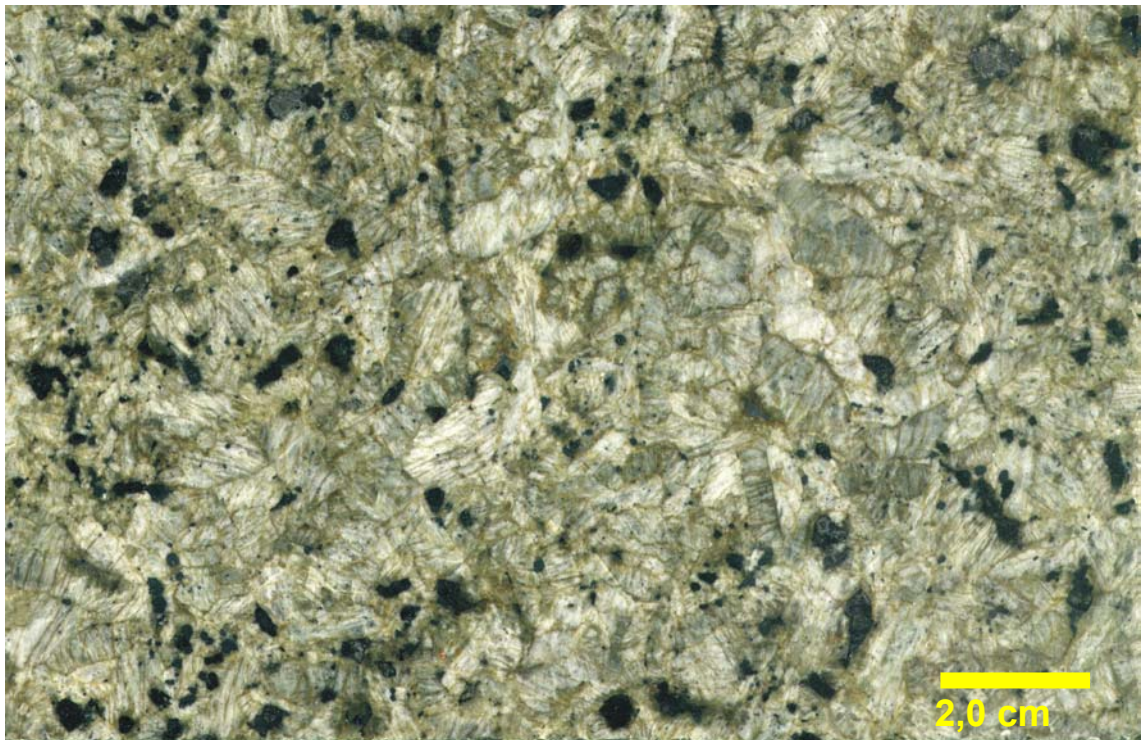


Foto 49 – Ladrilho da variedade Verde Mar .



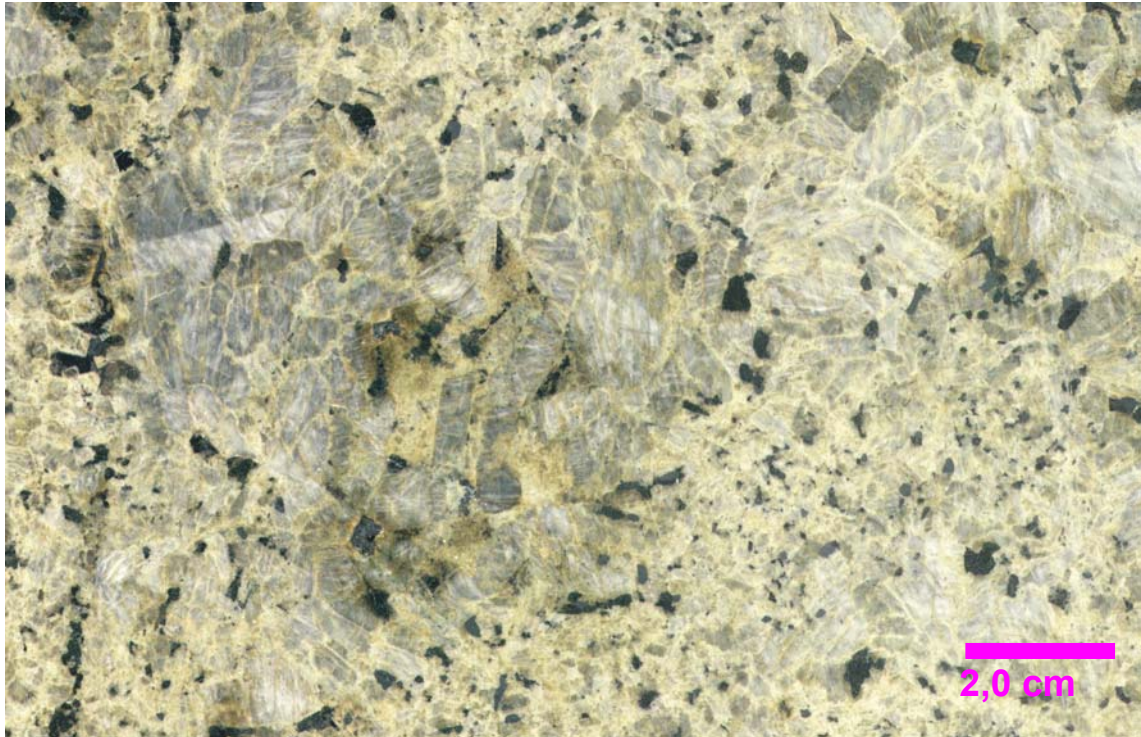


Foto 50 : Ladrilho da variedade ornamental Jade Imperial.

#### 8.4.2 - Prata Mar

Essa variedade do Verde Mar (TP-6), de coloração mais acinzentada, é extraída no mesmo paredão em que ele é encontrado, porém em cotas superiores (1050m). Apresenta as mesmas feições texturais do Verde Mar e composição mineralógica que se diferencia apenas pela maior quantidade de máficos (Foto 51).

O Prata Mar apresenta 81 % de feldspato potássico, de hábito anédrico, granulação média a grossa, intercrescimento pertítico e alteração para argilo-mineral e inclusões de piroxênio, opacos e apatita. Os feldspatos apresentam-se intensamente fraturados (Fig.15). Possui richterita, em torno de 5%, com hábito anédrico, granulação média e inclusões de opacos.



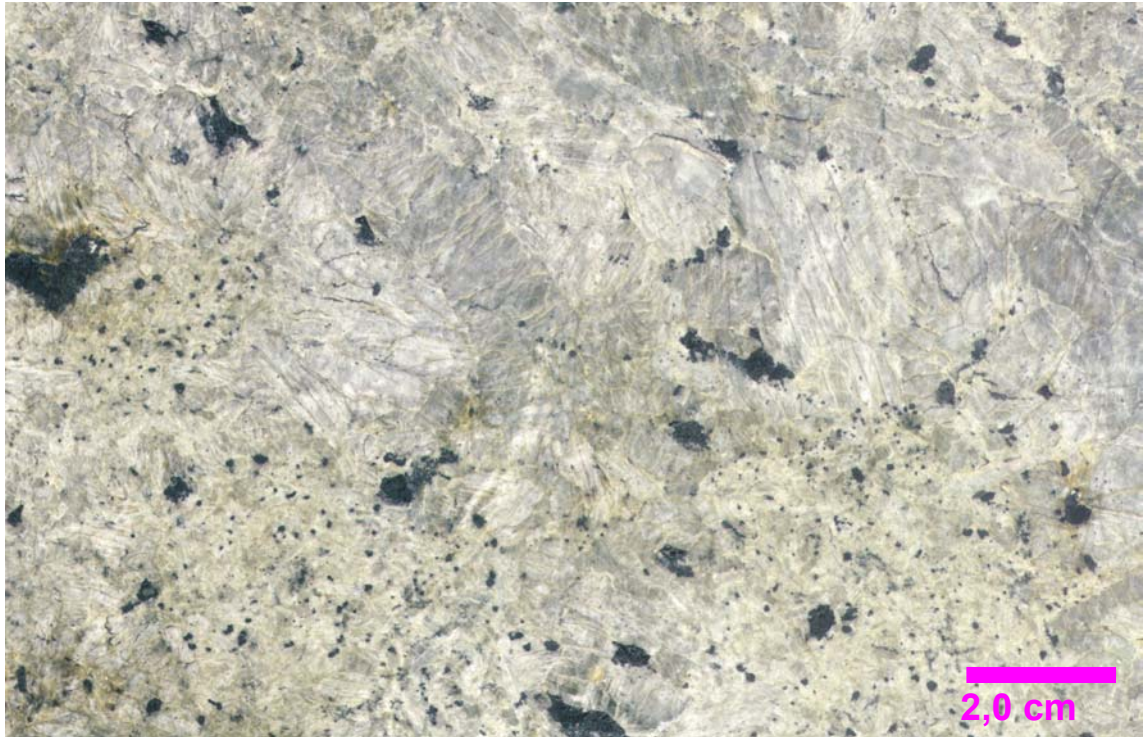


Foto 51 – Ladrilho da variedade Prata Mar .



Foto 52 – Detalhe de chapa de Prata Mar exibindo concentração de máficos.

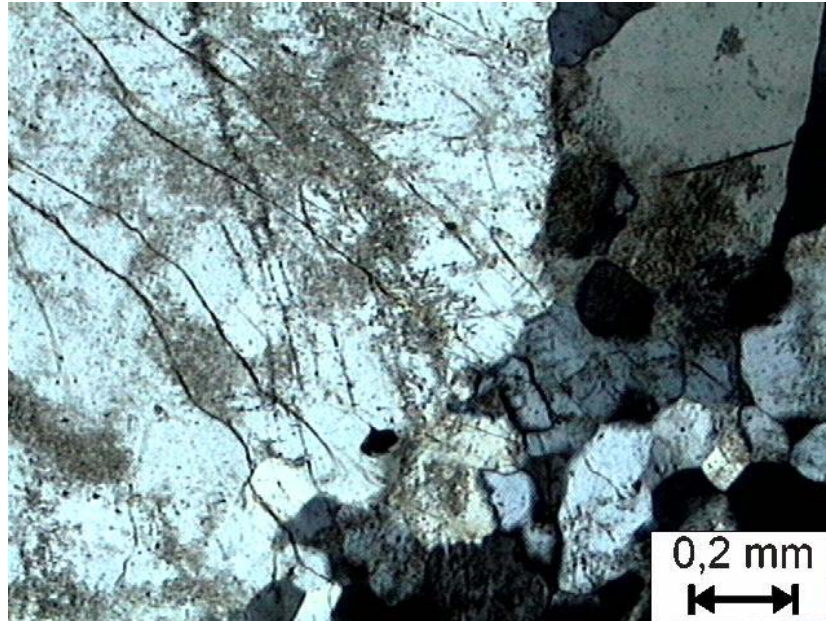


Figura 15 – Fotomicrografia de Prata Mar apresentando feldspato intensamente fraturado (Luz polarizada).

#### 8.4.3 - Prata (Moonlight)

Ainda na mesma estrutura subvulcânica, só que em cota superior (1070m), aflora essa outra variedade (TP-8) da fácies Verde Mar, de coloração cinza azulado, denominado Prata (Foto 53), que se caracteriza pela quantidade maior de máficos do que as variedades anteriores, muitas vezes concentrados em agregados ao longo da rocha.

Possui, por consequência, uma quantidade menor (60%) de feldspato potássico que as outras variedades, mantendo as mesmas características que nas anteriores. Seu anfibólio é a hornblenda (10%), que apresenta inclusões de opaco e apatita. Também presente na rocha encontra-se a biotita (5%), com granulação grossa, possuindo inclusão de opacos, encontrando-se inclusive nos feldspatos potássicos.



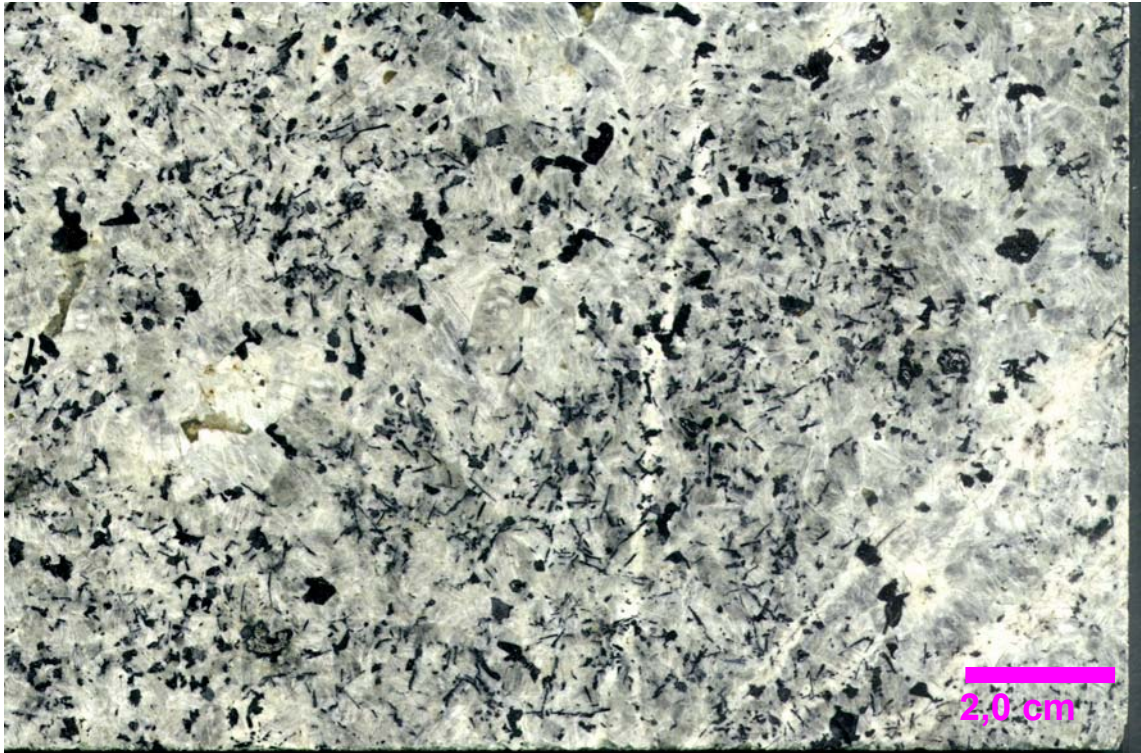


Foto 53 – Ladrilho da variedade ornamental Prata.

## 8.5 - FÁCIES BOREAL

As rochas ornamentais englobadas nessa fácies são denominadas comercialmente de Verde Boreal, Prata Boreal, Damasco e White Tunas.

Com exceção do White Tunas, as rochas dessa fácies ocorrem em afloramentos situados ao longo de cristas da segunda estrutura semi-circular, na borda sul do complexo. São lavradas em pedreiras localizadas em cotas que variam de 1.000m a 1.100 m, cujas rochas apresentam coloração variando do cinza ao cinza-esverdeado. São intensamente atravessadas por veios de microssienito e traquito.

Observando-se os afloramentos que ocorrem ao longo da segunda estrutura subvulcânica, verifica-se que as rochas de coloração verde mais intenso ocorrem em cotas mais inferiores (1.000m), tanto na porção interna quanto externa, e à medida que a altitude aumenta, a coloração das rochas vai variando para um matiz mais acinzentado (cota 1.015m), aproximando-se para um cinza mais claro (cota 1.025m), até um material de cor cinza rosado (cota 1.070m), denominado Damasco.

Comparando amostras de diferentes posições e cotas, dessa estrutura subvulcânica, Di Giorgio (2003) supôs que a variação de coloração entre as rochas, aqui agrupadas na Fácies Boreal, deve-se a alterações intempéricas, atentando para o grau de alteração dos feldspatos e dos minerais máficos presentes nessas rochas.

As rochas dessa fácies são classificadas como álcali-feldspato sienito (Verde Boreal , Prata Boreal e White Tunas) e monzonito (Damasco).

Na porção norte do complexo, no início de uma curva acentuada da Estrada da Ribeira, aflora a variedade ornamental Tunas White (TP-1), de coloração cinza esbranquiçada, mais clara do que o Prata Boreal. Esse material é lavrado em matacões num depósito coluvial, numa pedreira localizada na margem esquerda da rodovia, no flanco externo da estrutura vulcânica, na cota 885 m, já no contorno do complexo. Dessa pedreira, caminhando em sentido oeste, em direção à parte interna do complexo, atinge-se outro afloramento (TP-2), cujas rochas apresentam coloração verde escura, assemelhando-se em textura ao Verde Leopardo, provavelmente a continuidade da Fácies Verde Tunas .

As rochas da fácies Boreal apresentam coloração verde claro a cinza, textura equigranular, estrutura maciça ou fraturada, e granulação média. São compostas por feldspatos alcalinos em proporções que variam de 40% (Damasco) a 74% (Verde Boreal), hábito euédrico a anédrico, granulação grossa, contendo inclusões de opacos e apatita, podendo apresentar, em algumas variedades, intercrescimento pertítico, alterando-se para argilo-minerais, sendo que na variedade Prata Boreal essa alteração é de um grau maior

A quantidade de máficos varia de 5 a 15%, representados por anfibólios, piroxênios e biotita. As variedades Prata e Verde Boreal apresentam quantidades iguais de máficos (15%), sendo que o Prata Boreal tem 10% de piroxênios e 5% de anfibólio (hornblenda), enquanto que o Verde Boreal tem apenas o anfibólio kersutita. Os piroxênios possuem hábito anédrico, granulação grossa, inclusões de opacos e apatita, além de apresentarem incipiente alteração para óxido de ferro. Os anfibólios apresentam hábito anédrico, granulação média a grossa, possuindo também inclusões de opacos e apatita.

A biotita participa apenas na composição da variedade Tunas White, em quantidades não superiores a 5%, ocorrendo próximo dos anfibólios, possuindo hábito anédrico, granulação média e inclusão de opacos.

Os opacos ocorrem em quantidade de 5%, exibindo hábito anédrico, granulação média, ocorrendo como inclusões nos piroxênios, anfibólios e feldspatos potássicos. Outro mineral encontrado sob a forma de inclusão, nos minerais anteriormente citados, é a apatita, ocorrendo em torno de 3%, em cristais euédricos de granulação fina.

Como produto da alteração dos feldspatos ocorrem argilo-minerais, em cerca de 3% da rocha em algumas variedades. Já o óxido de ferro ocorre em traços, resultante da alteração dos piroxênios, alojando-se nas bordas dos minerais. Na variedade Verde Boreal, observa-se ainda a presença de traços de carbonato, de granulação fina e hábito anédrico.

A tabela 4 apresenta um resumo das características mineralógicas de algumas rochas dessa fácies:

Tabela 4 – Mineralogia das rochas da fácies Boreal

Mineralogia (%)	Variedades Ornamentais			
	Prata Boreal	Verde Boreal	Damasco	Tunas White
K Feldspato	74	74	40	77
Plagioclásio		-	36	-
Piroxênios				
Augita	10	-	5	-
Egirina	-	-	-	10
Anfibólios				
Hornblenda	5	-	-	5
Kersutita		15	-	-
Richterita	-	-	-	10
Biotita	-	-	-	5
Apatita	2	3	Traços	Traços
Zircão	-	-	Traços	-
Quartzo	-	-	8	-
Argilo-min.	3	3	3	2
Carbonatos	-	Traços	2	-
Opacos	-	5	5	5



#### 8.5.1 -Verde Boreal e Prata Boreal

Essas variedades apresentam praticamente a mesma composição mineralógica, além de granulação e texturas semelhantes, sendo diferenciadas apenas pela cor. Ainda assim o Verde Boreal apresenta, em diferentes frentes de lavra, variação de cor, ora apresentando uma coloração verde mais intenso, quase se confundindo com espécies mais claras do Verde Tunas, ora com uma coloração verde mais suave, em função da cor cinzenta dos feldspatos (Fotos 54, 55 e 56)



Foto 54 – Ladrilho de Verde Boreal Escuro .



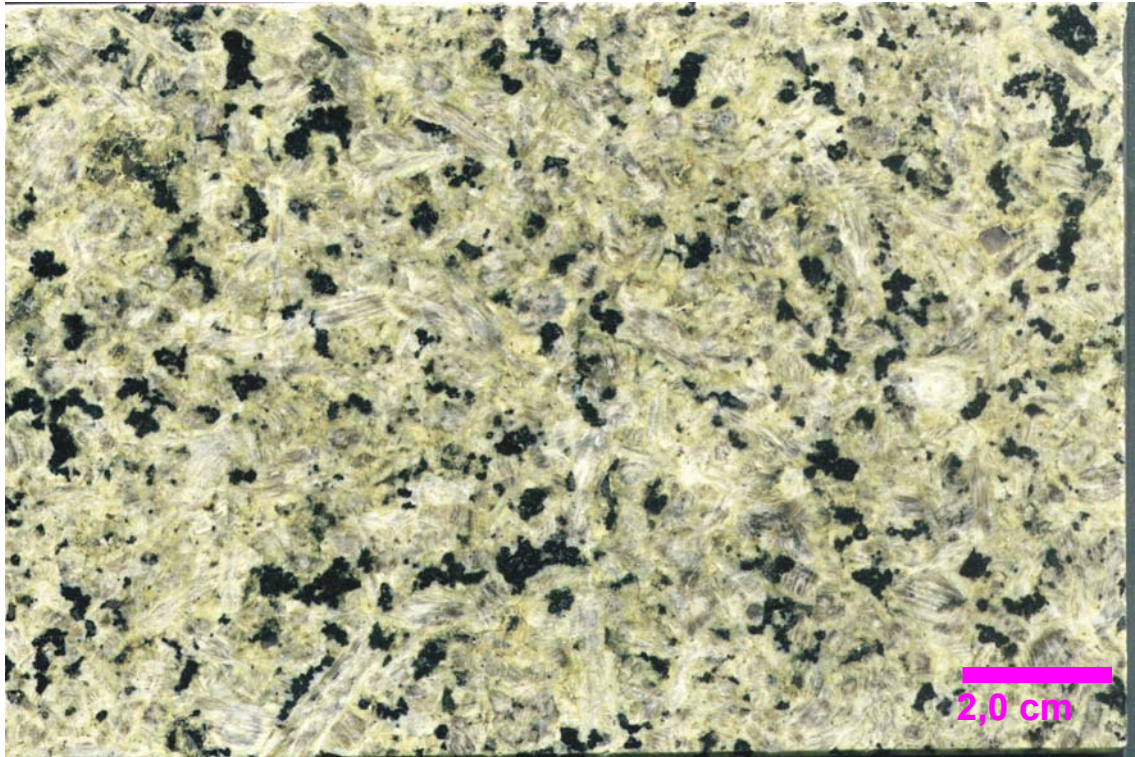


Foto 55 – Ladrilho de Verde Boreal.

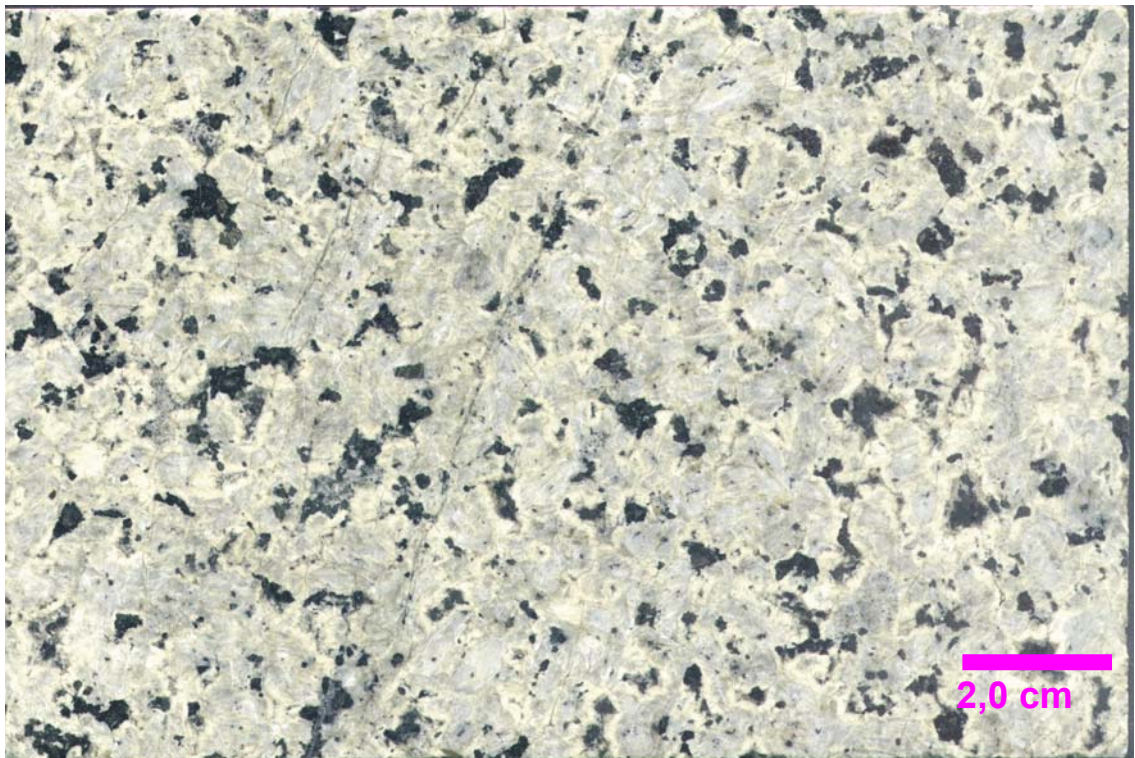


Foto 56 – Ladrilho de Prata Boreal .



### 8.5.2 -Damasco

Classificada como um monzonito, essa variedade é lavrada numa pedreira de propriedade da Marmoraria Água Verde, situada na crista da borda leste da segunda estrutura subvulcânica.

Apesar de sua coloração distinta (Foto 57), a feição que mais chama a atenção nessa variedade ornamental é a semelhança com o Verde Leopardo, em função do zoneamento apresentado pelos feldspatos. A coloração rosada dessa rocha deve-se ao processo de alteração deutérica, do tipo sericitização, sofrida pelos feldspatos, o que pode ser observado em lâminas (Fig.15).

A rocha apresenta 40% de feldspato potássico em sua composição, sendo estes de hábito euédrico, granulação fina, com intercrescimento peritítico, apresentando inclusões de minerais opacos e apatita, encontrando-se visivelmente alterados para argilominerais.



Foto 57 – Ladrilho da variedade ornamental Damasco.

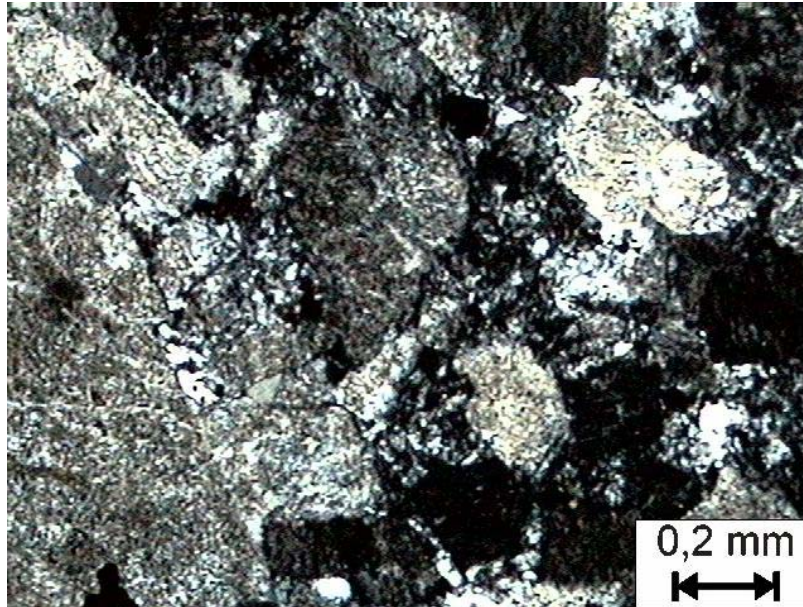


Figura 16 – Fotomicrografia da variedade Damasco exibindo contato do sienito (à esquerda) com veio de traquito (à direita). Presença de feldspatos sericitizados. (luz polarizada).

Além disso, possui 36% de plagioclásios, de hábito subédrico ripiforme, apresentando alteração para argilominerais. O quartzo se faz presente nessa rocha, perfazendo 8%, apresentando-se sob a forma de cristais finos de hábito anédrico, intersticial aos demais minerais.

A augita é o piroxênio presente nessa variedade ornamental, em quantidade não superior a 5%, apresentando hábito anédrico e granulação grossa. Os opacos perfazem 5% da rocha, apresentando hábito anédrico, granulação fina e média, e encontram-se inclusos nos feldspatos potássicos e nos piroxênios.

Subordinadamente ocorrem carbonatos (2%) em cristais de granulação fina e hábito anédrico, próximos aos feldspatos, argilominerais (3%) como produto da alteração de feldspatos potássicos e plagioclásios, além de apatita e zircão, inclusos nos feldspatos e piroxênios.

Essa rocha é atravessada por diques de traquito de pequena espessura, fazendo com que as chapas e ladrilhos tenham que ser selecionados antes da comercialização.

### 8.5.3 - Tunas White

Essa variedade ornamental de cor cinza claro é encontrada numa pedreira, na borda norte do complexo, à esquerda da BR-476, de propriedade da SEPAMAR e em afloramentos na porção central da quarta estrutura subvulcânica. Trata-se da única variedade ornamental incluída na fácies Boreal que não aflora na segunda estrutura subvulcânica do complexo. Apesar da sua proximidade com as rochas da fácies Verde Mar, essa variedade foi considerada como da fácies Boreal devido as suas características geoquímicas e petrográficas (Foto 58).

É formada por 77% de feldspato potássico, contendo inclusões de opacos e intercrescimento pertítico. A superfície dos feldspatos apresenta fraturas preenchidas por carbonatos, além de alteração para argilominerais.



Foto 58 – Amostra polida da variedade Tunas White.

Os máficos são representados pela riechterita, em quantidades próximas a 10%, de hábito anédrico a subédrico, granulação grossa, contendo inclusões de opacos e apatita.

A biotita participa da composição da rocha em quantidades não superiores



a 5%, ocorrendo próximo dos anfibólios, possuindo hábito anédrico, granulação média e inclusão de opacos. Estes por sua vez, ocorrem em 5%, inclusos em feldspatos alcalinos, anfibólios e biotita.

Em quantidade subordinada ocorrem argilominerais (2%), como produto da alteração dos feldspatos e, como acessórios, ocorrem a apatita e o zircão.

#### 8.6 -Fácies pegmatóide

Dessa variedade faciológica foi definida apenas uma rocha ornamental, comercialmente denominada de *Sea Foam Green*, extraída pelas empresas SEPAMAR e Próton Participações Ltda, em duas localidades do complexo: numa pedreira à esquerda do morro da Antena (TP-25) e outra nas margens do Rio Barro Vermelho (TP-43). O que há de comum nessas ocorrências é a localização próxima a corpos de brechas.

As rochas dessa fácies possuem coloração verde-amarelada a branco-acinzentado, contendo matriz de cristais centimétricos, apresentando uma série de cavidades miarolíticas, do tipo drusas, contendo anfibólios, berilo e quartzo bem cristalizados (Foto 59 e 60). Essas rochas apresentam textura equigranular, com granulação grossa a pegmatítica, contendo feldspato potássico (70 a 85%), piroxênios (10% a 15%), opacos (5%), carbonatos (até 5%), traços de argilominerais, além de traços de titanita e apatita.

Constitui-se principalmente de grandes cristais anédricos, quase euédricos de microclínio, anfibólios de granulação média, em cristais euédricos ou associados a piroxênios anédricos, de granulação média; biotita em finas lamelas subédricas, carbonato formando agregados anédricos a subédricos, de granulação média. Como acessórios, encontram-se traços de apatita e zircão como inclusão em feldspato.

Essa rocha é classificada como álcali-feldspato sienito. Sua variedade mais clara vem recebendo a denominação de *Sea Foam Gold* (Foto 61).

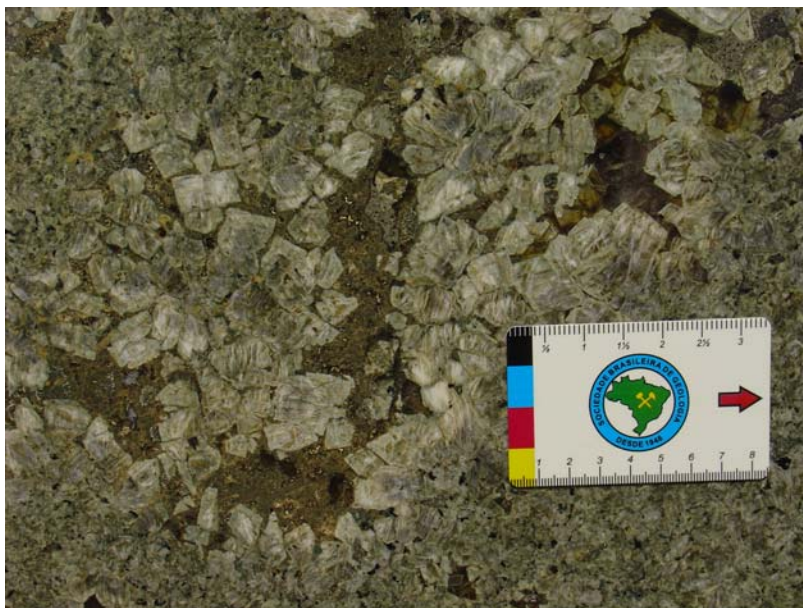


Foto 49 – Detalhe de chapa de Sea Foam Green apresentando cavidades preenchidas por estuque.



Foto 60 – Chapa de Sea Foam Green.



Foto 61 – Ladrilho da variedade amarelada da fácies  
Pegmatóide , denominada de Sea Foam Gold.  
Fonte: [www.paranagranitos.com.br](http://www.paranagranitos.com.br)

## 9 – ENSAIOS GEOQUÍMICOS

Amostras das principais variedades ornamentais de cada uma das fácies definidas, foram analisadas em Espectômetro de Fluorescência de Raios X, no Laboratório de Análise de Minerais e Rochas – LAMIR, do Departamento de Geologia da UFPR, visando a determinação da sua composição química, e posterior tratamento dos dados, de forma a obter maiores informações quanto a caracterização de cada uma das fácies. Ao todo foram analisadas 22 amostras, tendo sido determinados para cada uma, os teores (em % peso) de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  e perda ao fogo (Tab.5). De posse desses valores, foi calculada, para cada amostra, a norma CIPW, bem como o índice de diferenciação (ID), os valores de mg ( $\text{MgO}/\text{Mg}+\text{FeO}$ ),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{FeO}$ , utilizando para os dois últimos, a razão 0,20.

Quando projetadas no diagrama de Cox *et al.* (1979) ( $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ ) versus  $\text{SiO}_2$ ) de rochas vulcânicas, adaptado por Wilson (1989) para rochas plutônicas, as amostras das rochas ornamentais de Tunas distribuem-se no campo dos sienitos (Fig. 17), situando-se entre as faixas das rochas intermediárias e ácidas em relação ao conteúdo de sílica. As duas amostras que são projetadas em outros campos, são de um gabro e um monzodiorito.

Tabela 5 – Composição química e composição normativa das rochas do Complexo Alcalino de Tunas

<b>Fácies</b>											
<b>Elementos(%)</b>	<b>TP- 9</b>	<b>TP- 10</b>	<b>TP- 17</b>	<b>TP- 29</b>	<b>TP- 37</b>	<b>TP- 39</b>	<b>TP- 48</b>	<b>TP- 78</b>	<b>TP-84</b>	<b>TP- 85</b>	<b>TP - 86</b>
SiO <sub>2</sub>	61,05	62,24	62,66	59,99	62,77	62,94	64,13	64,20	62,72	64,81	64,71
TiO <sub>2</sub>	0,93	0,19	0,65	0,44	0,19	0,21	0,20	0,23	0,56	0,16	0,32
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,45	17,64	17,30	18,59	16,08	15,66	18,09	16,45	16,24	18,66	16,64
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,27	4,77	5,04	4,53	7,09	6,99	4,02	5,71	6,39	3,32	4,67
FeO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,20	0,17	0,19	0,15	0,29	0,29	0,18	0,22	0,17	0,10	0,24
MgO	0,80	0,10	0,57	0,62	0,16	0,14	0,24	0,11	0,53	0,04	0,25
CaO	2,39	1,31	2,00	1,94	1,33	1,55	1,20	1,20	2,06	0,82	1,17
Na <sub>2</sub> O	5,83	6,73	5,85	5,93	6,38	6,60	6,39	6,95	6,19	7,00	6,23
K <sub>2</sub> O	5,24	5,69	5,80	5,77	5,62	5,03	5,86	5,34	5,21	5,70	5,86
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,22	0,04	0,15	0,18	0,05	0,04	0,06	0,04	0,15	0,02	0,06
L.O.I.	0,47	0,59	0,72	0,96	0,43	1,53	0,46	0,83	0,58	0,39	0,66
<b>Total</b>	<b>99,84</b>	<b>99,48</b>	<b>100,93</b>	<b>99,11</b>	<b>100,38</b>	<b>100,97</b>	<b>100,84</b>	<b>101,27</b>	<b>100,78</b>	<b>101,02</b>	<b>100,80</b>
Quartzo	0,20	0,00	0,52	0,00	0,00	0,10	0,15	0,00	0,69	0,00	2,06
Plagioclásio	53,15	54,07	53,41	54,98	51,71	53,14	57,37	54,88	53,70	61,38	52,94
Ortoclásio	31,32	34,16	34,33	34,87	33,45	30,08	34,63	31,56	30,85	33,51	34,75
Nefelina	0,00	2,65	0,00	1,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,00
Diopsídio	6,18	4,64	4,41	1,15	5,60	6,67	1,90	5,05	7,02	1,08	4,63
Hiperstênio	5,03	0,00	4,28	0,00	2,19	6,03	4,27	2,87	4,47	0,00	3,53
Olivina	0,00	2,61	0,00	4,42	3,37	0,00	0,00	1,78	0,00	2,52	0,00
Acmita	0,00	0,00	0,00	0,00	2,30	2,91	0,00	3,30	0,00	0,00	0,00
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00
Ilmenita	1,79	0,36	1,23	0,85	0,36	0,40	0,38	0,44	1,06	0,30	0,61
Magnetita	1,84	1,41	1,46	1,35	0,48	0,59	1,16	0,00	1,86	0,96	1,36
Hematita	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Apatita	0,51	0,09	0,35	0,44	0,12	0,09	0,14	0,09	0,35	0,05	0,14
<b>Total</b>	<b>100,02</b>	<b>99,99</b>	<b>99,99</b>	<b>99,98</b>	<b>99,58</b>	<b>100,01</b>	<b>100,00</b>	<b>100,01</b>	<b>100,00</b>	<b>99,99</b>	<b>100,02</b>
ID	84,70	90,90	88,30	91,80	85,20	83,30	92,20	86,40	85,20	95,10	89,80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,25	0,95	1,01	0,91	1,42	1,40	0,80	1,14	1,28	0,66	0,93
FeO (0,20)	4,51	3,43	3,63	3,26	5,11	5,03	2,90	4,11	4,60	2,39	3,36
Mg/(Mg +Fe <sub>2</sub> <sup>+</sup> )	24,00	4,90	21,80	25,20	5,30	4,70	12,90	4,60	17,00	2,90	11,70



Tabela 5 – Composição química e composição normativa das rochas do Complexo Alcalino de Tunas(continuação)

Fácies	Verde Mar		Boreal						Pegmatóide	-	-
Elementos(%)	TP- 7	TP- 8	TP- 1	TP - 13	TP- 20	TP- 42	TP - 49	TP- 74	TP-62	TP- 14	TP- 72
SiO <sub>2</sub>	64,00	61,17	64,08	63,84	60,24	63,79	63,03	62,74	64,97	51,64	47,81
TiO <sub>2</sub>	0,19	0,39	0,40	0,53	0,58	0,61	0,50	0,62	0,07	1,56	2,08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,86	18,07	17,22	16,41	18,80	16,45	17,57	16,87	16,66	18,51	18,06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,47	5,34	3,84	4,93	4,95	5,61	4,44	5,28	4,52	9,24	10,94
FeO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,18	0,19	0,13	0,16	0,13	0,20	0,15	0,16	0,18	0,23	0,19
MgO	0,15	0,31	0,36	0,44	0,79	0,43	0,50	0,52	0,08	2,57	3,90
CaO	1,06	1,50	2,07	1,80	2,85	1,70	2,51	2,44	0,62	8,56	11,39
Na <sub>2</sub> O	7,02	6,40	5,50	5,87	6,27	6,00	6,27	5,98	7,04	4,27	3,59
K <sub>2</sub> O	5,67	5,80	5,33	5,47	4,57	5,44	4,79	5,02	5,52	2,03	1,12
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,03	0,10	0,09	0,12	0,20	0,14	0,15	0,16	0,06	0,55	0,75
L.O.I.	0,62	0,56	1,01	1,42	0,90	0,32	0,49	0,91	1,60	1,28	0,75
<b>Total</b>	<b>100,25</b>	<b>99,81</b>	<b>100,03</b>	<b>100,98</b>	<b>100,27</b>	<b>100,68</b>	<b>100,38</b>	<b>100,70</b>	<b>101,30</b>	<b>100,45</b>	<b>100,56</b>
Quartzo	0,00	0,00	5,89	3,53	0,00	2,74	1,71	2,18	0,94	0,00	0,00
Plagioclásio	55,10	53,02	54,77	52,37	61,95	52,65	58,98	55,33	55,35	62,11	55,69
Ortoclásio	33,74	34,69	31,91	32,62	27,30	32,21	28,43	29,84	32,86	12,17	6,68
Nefelina	0,24	2,85	0,00	0,00	0,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	2,79
Diopsídio	4,51	2,94	2,71	5,13	2,73	4,90	5,04	5,85	2,67	11,51	18,17
Hiperstênio	0,00	0,00	3,60	3,64	0,00	4,38	3,26	3,69	5,01	0,00	0,00
Olivina	3,06	3,97	0,00	0,00	4,23	0,00	0,00	0,00	0,00	7,00	7,73
Acmita	2,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,63	0,00	0,00
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38	0,00	0,00
Ilmenita	0,36	0,74	0,76	1,01	1,12	1,16	0,95	1,20	0,13	3,00	3,99
Magnetita	0,00	1,57	1,13	1,44	1,45	1,62	1,29	1,54	0,00	2,73	3,20
Hematita	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Apatita	0,07	0,23	0,23	0,28	0,46	0,32	0,35	0,37	0,02	1,30	1,76
<b>Total</b>	<b>99,99</b>	<b>100,01</b>	<b>101,00</b>	<b>100,02</b>	<b>100,00</b>	<b>99,98</b>	<b>100,01</b>	<b>100,00</b>	<b>99,99</b>	<b>100,01</b>	<b>100,01</b>
ID	89,10	90,60	91,60	88,50	90,00	87,60	89,10	87,40	89,20	74,50	65,20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,89	1,07	0,77	0,99	0,99	1,12	0,89	1,06	0,90	1,85	2,19
FeO	3,21	3,84	2,77	3,55	3,56	4,04	3,20	3,80	3,25	6,65	7,87
Mg/(Mg +Fe <sub>2</sub> <sup>+</sup> )	7,60	12,40	19,10	18,30	28,10	15,90	21,70	19,80	4,20	40,48	46,90

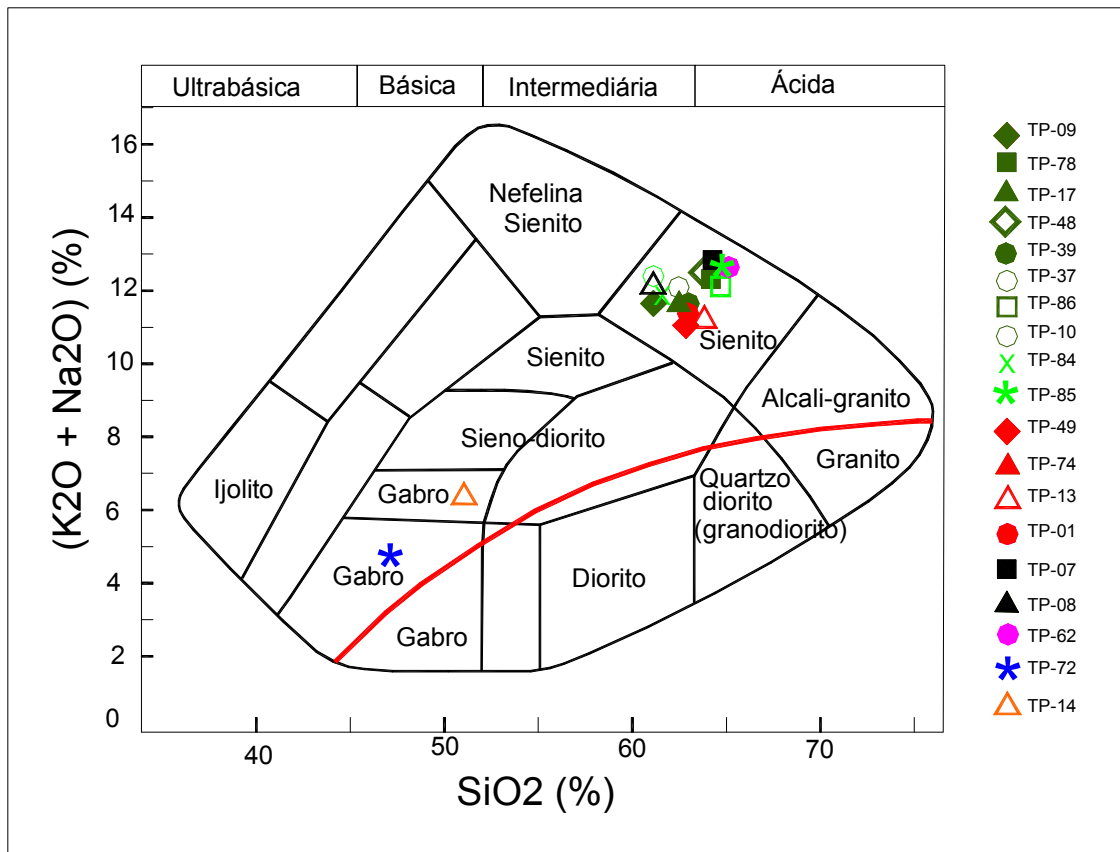


Figura 17 – Distribuição das rochas do Complexo Alcalino de Tunas no diagrama de Cox *et al.*(1979)

De modo geral, os sienitos ornamentais analisados apresentaram teores de sílica variando entre 61,04% (Verde Tunas) e 64,96%(*Sea Foam Green*), teores de alumina entre 15,56% a 18,80%, teores de álcalis ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) entre 10,83% e 12,69%, teores de óxido de ferro entre 3,31% e 6,98 %, baixos teores para os óxidos de magnésio (0,08 a 0,840%), fósforo (0,06 a 0,215%) e cálcio (0,620 a 2,506%), além de uma pequena variação nos teores do óxido de manganês (0,102 a 0,289%).

Em termos de diferenciação faciológica, os conteúdos em elementos maiores nas amostras não apontaram para uma solução, uma vez que os dados se enquadram numa grande faixa de variação. As rochas da fácies Verde Tunas apresentam conteúdo em sílica variando de 61,04% a 64,81%, teores em  $\text{Al}_2\text{O}_3$  entre 15,66% a 18,66%, teores de MgO entre 0,04% a 0,84%, teores em CaO variando de 0,82% a 2,38%, teores de  $\text{K}_2\text{O}$  entre 5,03% a 5,86%,  $\text{Na}_2\text{O}$  variando entre 5,82% a 7,0, teores de  $\text{TiO}_2$  entre 0,19% a 0,93%, teores de  $\text{P}_2\text{O}_5$  entre 0,02% a 0,21%, além dos maiores teores em  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  que as outras fácies ( 3,31% a 7,09%).

A fácies Boreal apresenta teores em  $\text{SiO}_2$  variando de 62,74% a 63,84%, teores em  $\text{Al}_2\text{O}_3$  entre 16,41% a 17,57%, teores de  $\text{MgO}$  entre 0,44% a 0,52%, teores em  $\text{CaO}$  variando de 1,79% a 2,51%, teores de  $\text{K}_2\text{O}$  entre 4,78% a 5,47%,  $\text{Na}_2\text{O}$  variando entre 5,50% a 6,27%, teores de  $\text{TiO}_2$  entre 0,49% a 0,62%, teores de  $\text{P}_2\text{O}_5$  entre 0,09% a 0,16%, e teores em  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  entre 3,84% e 5,28%.

Já a fácies Verde Mar apresenta teores de  $\text{SiO}_2$  variando de 61,16% a 64,04%, teores em  $\text{Al}_2\text{O}_3$  entre 16,85% a 18,07%, teores de  $\text{MgO}$  entre 0,15% a 0,31%, teores em  $\text{CaO}$  variando de 1,06% a 1,49%, teores de  $\text{K}_2\text{O}$  entre 5,67% a 5,79%,  $\text{Na}_2\text{O}$  variando entre 6,39% a 7,01%, teores de  $\text{TiO}_2$  entre 0,19% a 0,38%, teores de  $\text{P}_2\text{O}_5$  entre 0,03% a 0,10%, e teores em  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  entre 4,46% e 5,34%.

No diagrama  $\text{SiO}_2$  versus álcalis total (Fig 18), a correlação entre os óxidos é positiva e parece haver uma diferenciação entre os “trends” das fácies plutônicas definidas. Ainda nesse diagrama, percebe-se que a amostra da Fácies Pegmatóide encontra-se no prolongamento do “trend” da Fácies Verde Tunas, indicando seu caráter mais diferenciado em relação às demais rochas.

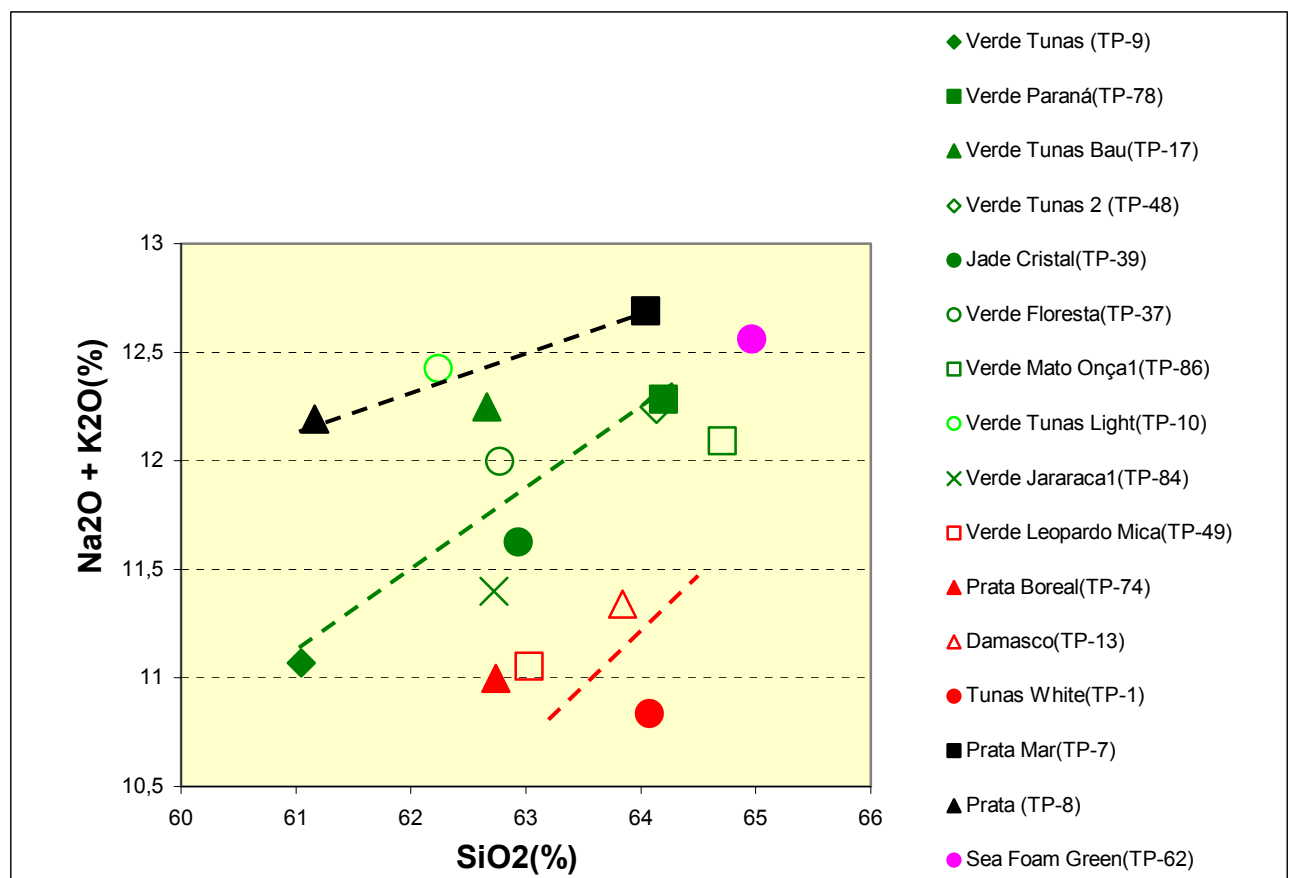


Figura 18 – Diagrama de variação para  $\text{SiO}_2$  versus álcalis total para as diferentes fácies do complexo alcalino de Tunas.

As figuras 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25 e 26 mostram as correlações entre os elementos maiores e a sílica, feitas em diagramas de Harker, para os sienitos ornamentais, diferenciados em fácies por cores (verde para a Fácies Verde Tunas, vermelho para a Boreal, preto para a Verde Mar e magenta para a Pegmatóide).

No diagrama  $Al_2O_3$  versus  $SiO_2$  (Fig. 19) ocorre uma correlação positiva para as rochas da Fácies Verde Tunas e negativa para a Fácies Verde Mar. Já para a Fácies Boreal há uma correlação positiva. Da mesma forma que no diagrama anterior, a Fácies Pegmatóide se diferencia do “trend” da Fácies Verde Tunas.

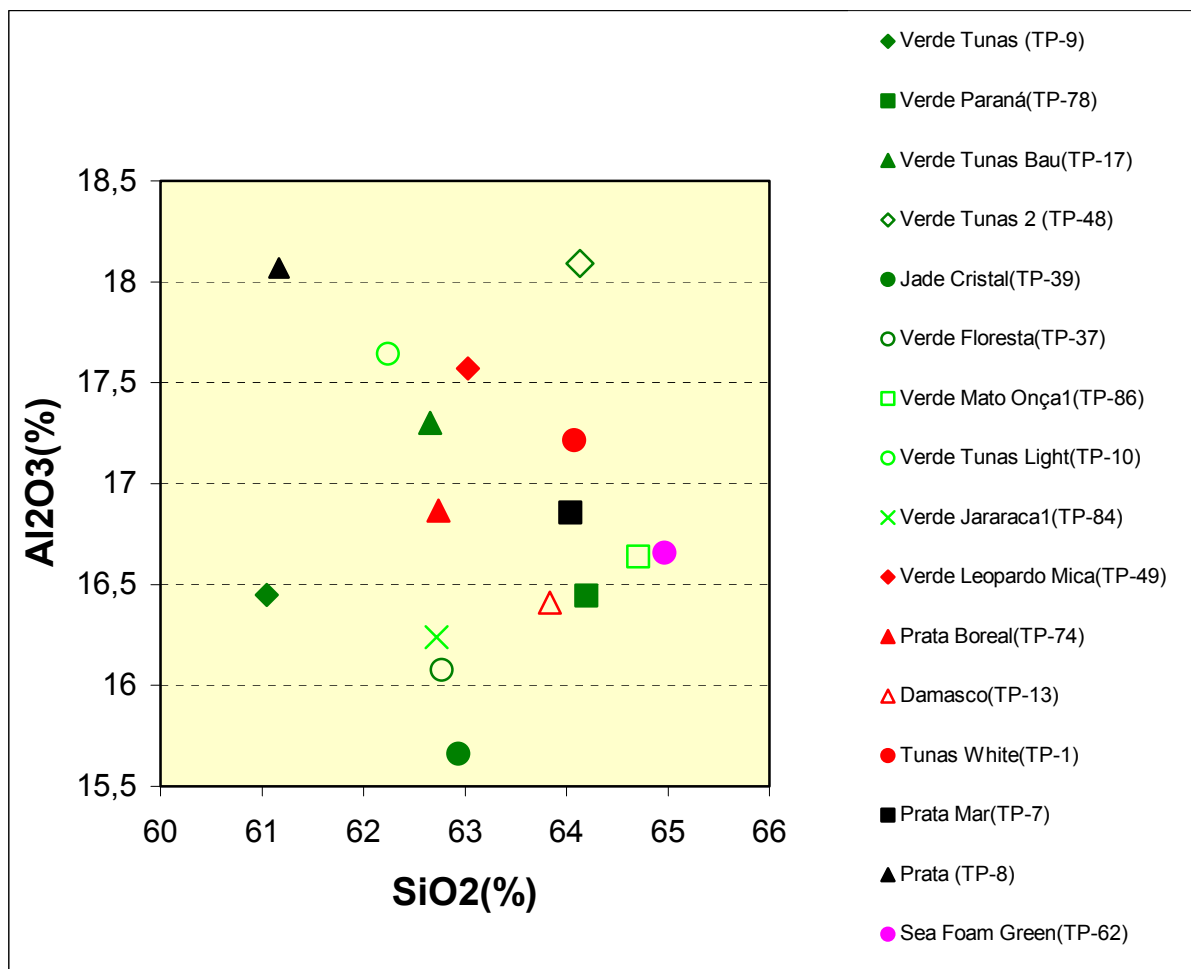


Figura 19 – Diagrama  $Al_2O_3$  versus  $SiO_2$  para as rochas de Tunas.

No diagrama do  $Na_2O$  versus  $SiO_2$  (Fig. 20) ocorre correlação positiva para as rochas das fácies Verde Tunas e Verde Mar e correlação negativa para as rochas das fácies Boreal. Essa situação se inverte no diagrama  $K_2O$  versus  $SiO_2$  (Fig. 21) onde há correlação positiva para as rochas das fácies Verde Tunas e Boreal e negativa para as rochas da fácies Verde Mar.

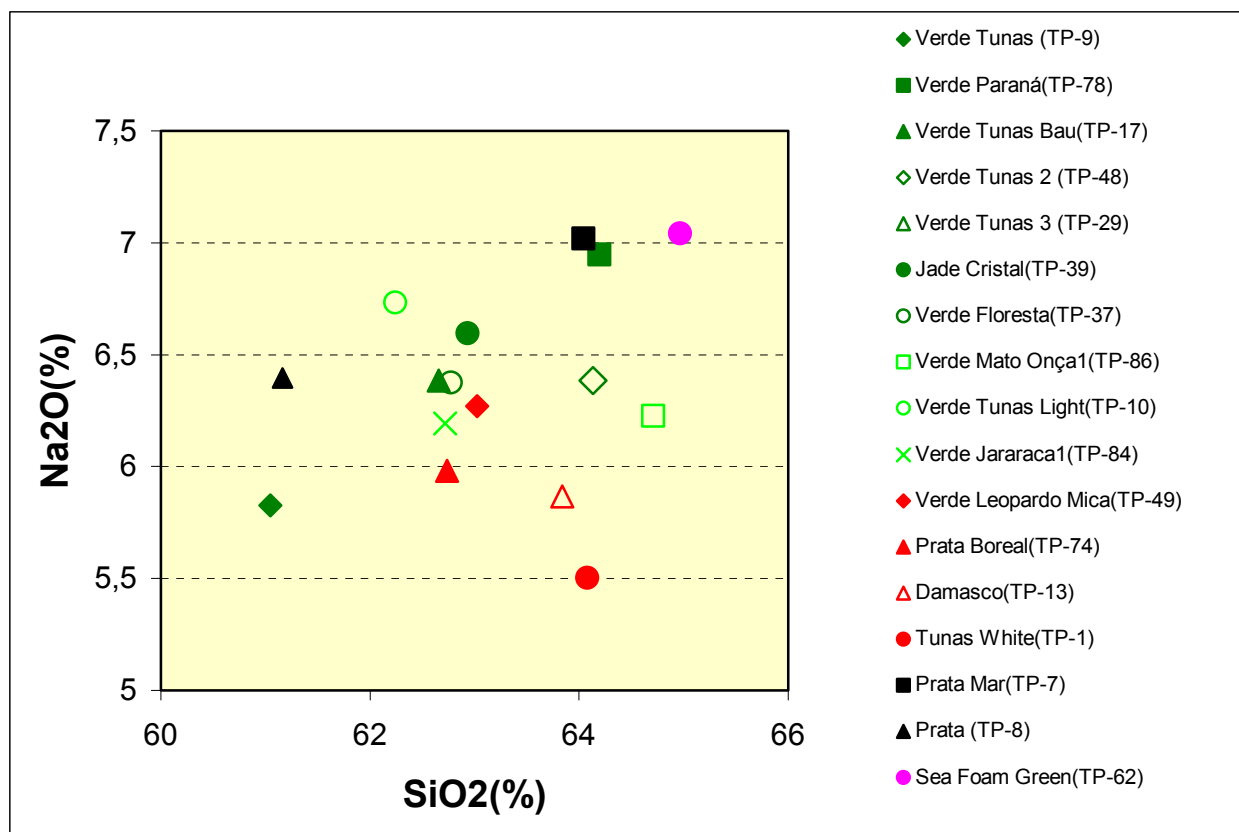


Figura 20 – Diagrama Na<sub>2</sub>O versus SiO<sub>2</sub> para as rochas de Tunas.

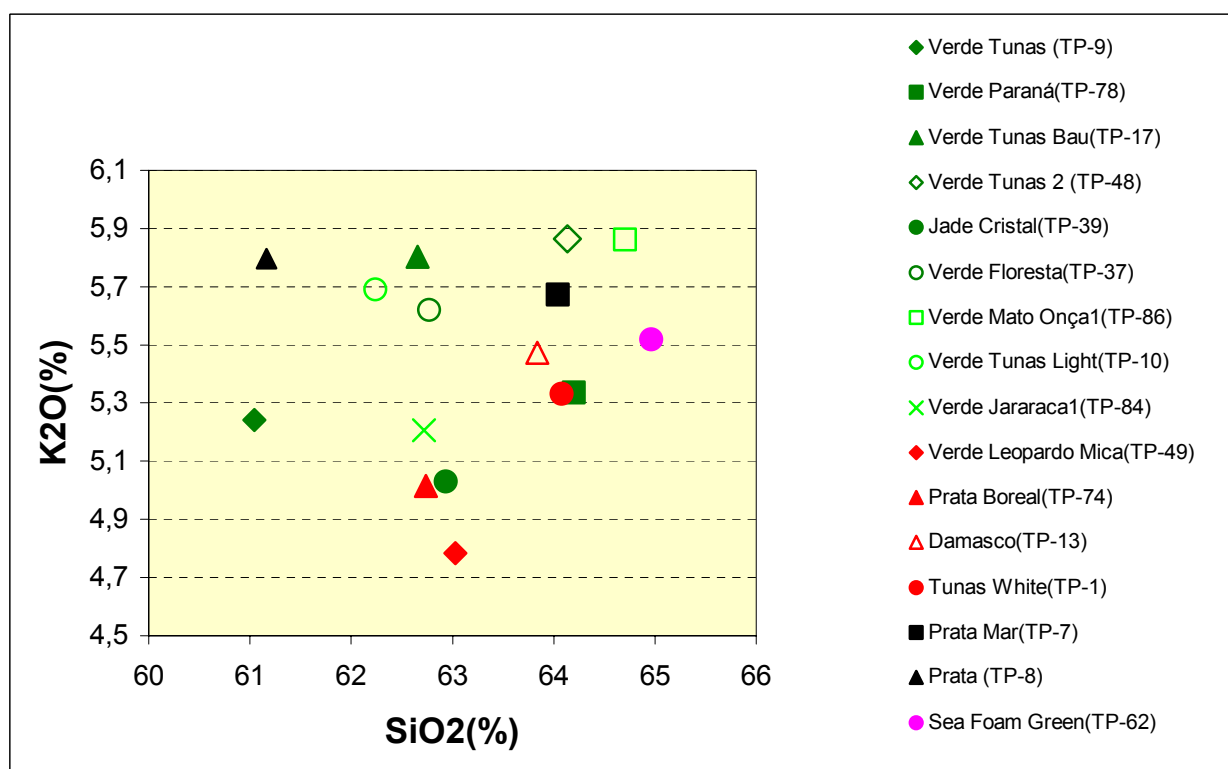


Figura 21 – Diagrama K<sub>2</sub>O versus SiO<sub>2</sub> para as rochas de Tunas.



Nos diagramas com relação a  $TiO_2$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $Fe_2O_3$  e  $P_2O_5$  versus  $SiO_2$  (Fig. 22, 23, 24, 25 e 26 ), as correlações são negativas para as rochas das diferentes fácies definidas, sendo importante ressaltar que esses óxidos não se mostraram bons discriminantes quanto a definição de “trends” para diferentes fácies.

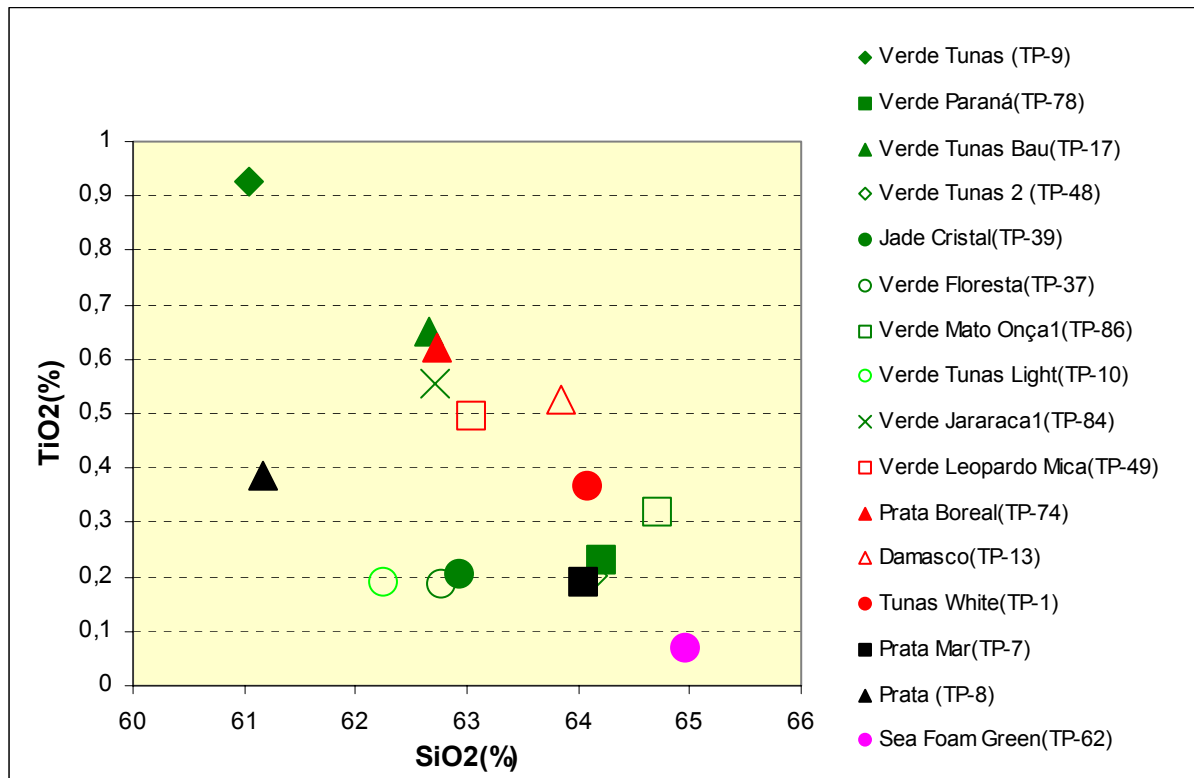


figura 22 – Diagrama  $TiO_2O$  versus  $SiO_2$  para as rochas de Tunas.

As correlações obtidas em todos os diagramas, em muito se assemelham às obtidas por Di Giorgio (2003), que também identificou diferentes “trends” para as rochas de coloração verde e cinza do complexo. Essa diferenciação entre os “trends” bem como a existência de rochas diferenciadas, evidencia a existência de processos de diferenciação magmática responsáveis pela formação das rochas do Complexo de Tunas, como observado por Gomes *et al.* (1987).

Analisando os dados obtidos, logo se percebe que a análise geoquímica não é satisfatoriamente conclusiva no que tange à diferenciação faciológica das rochas ornamentais, uma vez que as mesmas apresentam composições químicas muito próximas, mesmo para materiais de coloração distinta.

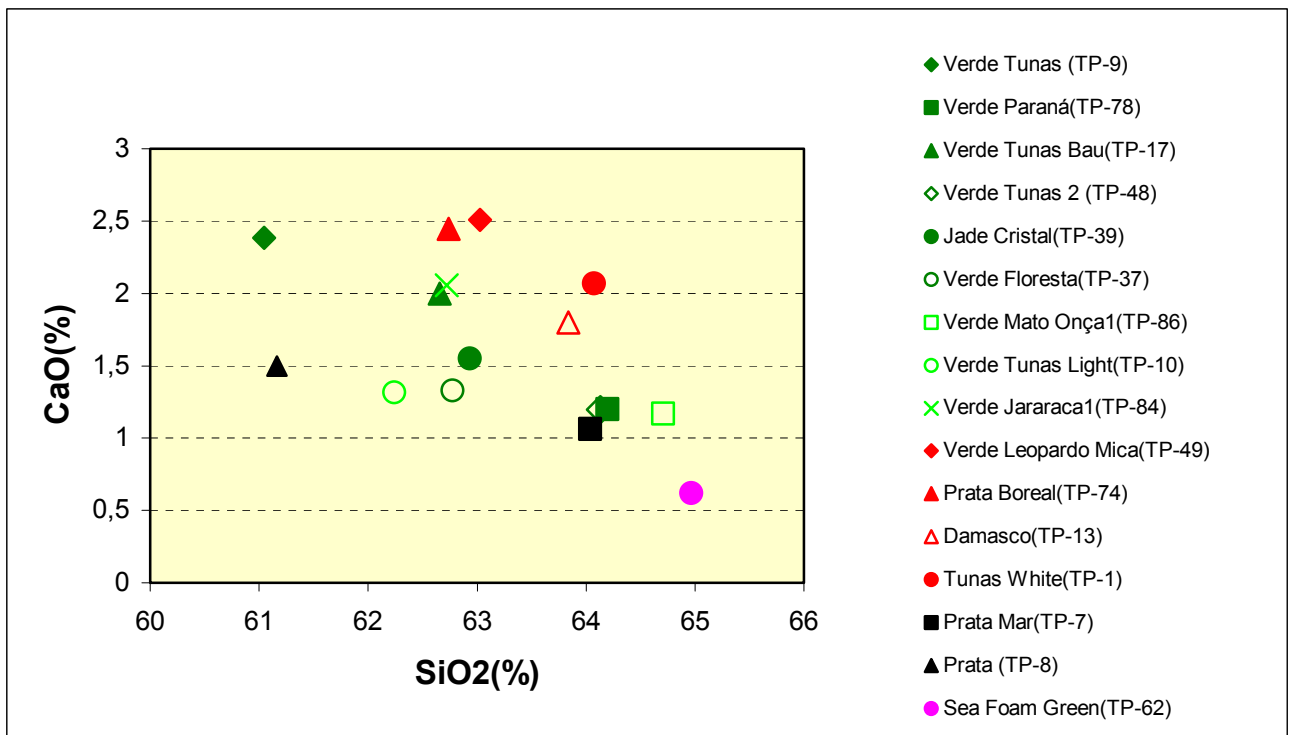


Figura 23 – Diagrama CaO versus SiO<sub>2</sub> para as rochas de Tunas.

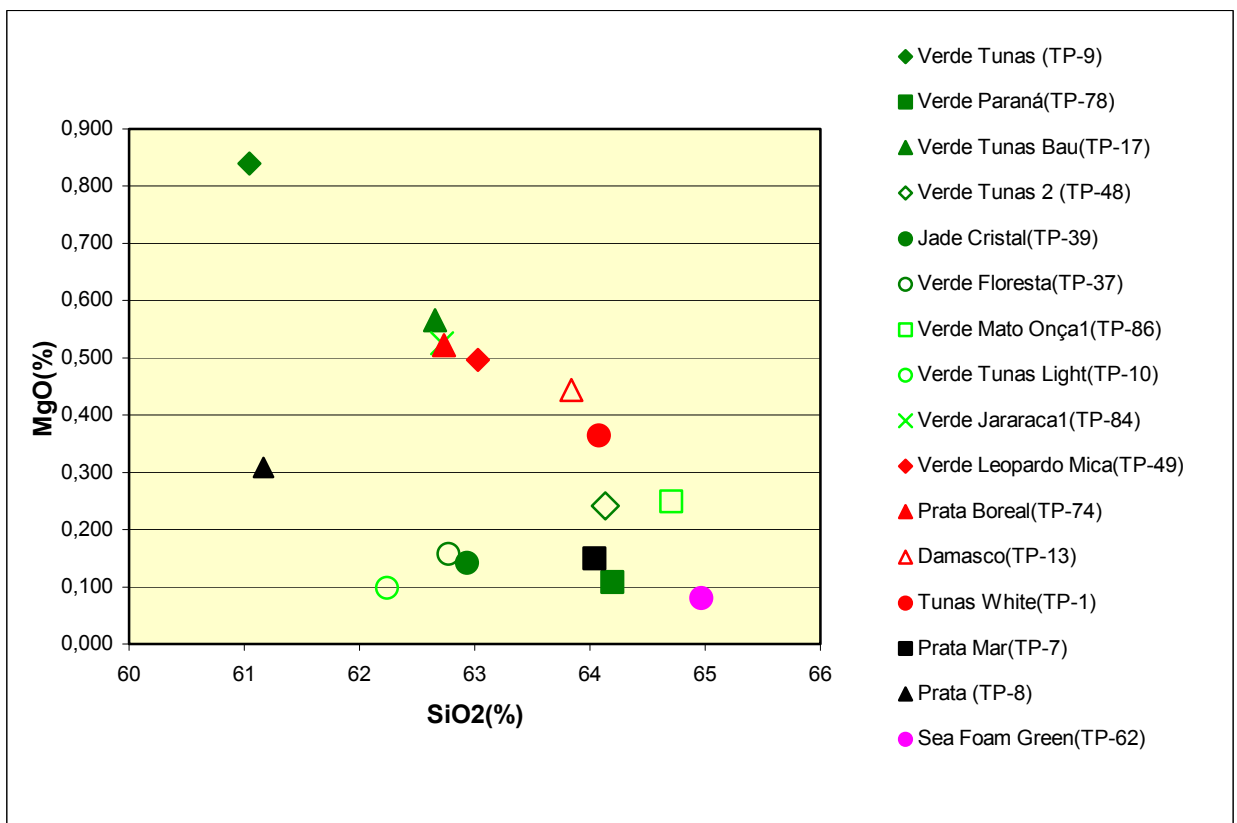


Figura 24 – Diagrama MgO versus SiO<sub>2</sub> para as rochas de Tunas.

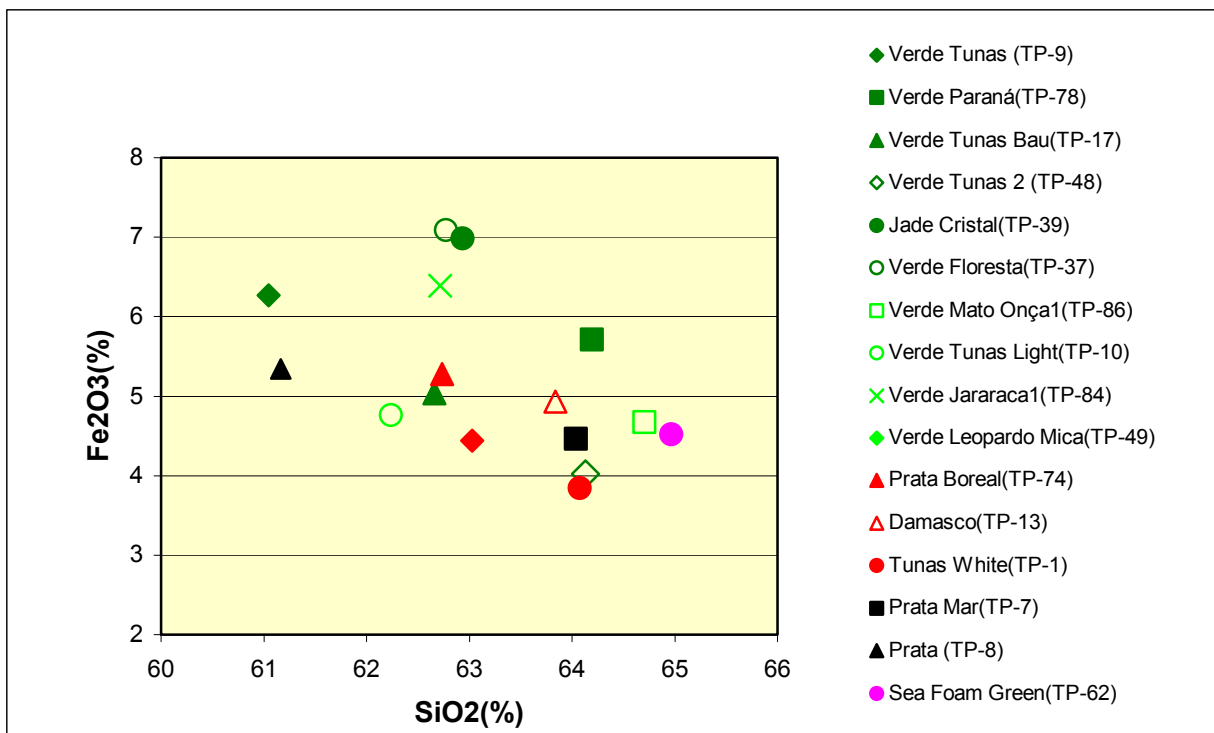


Figura 25 – Diagrama Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> versus SiO<sub>2</sub> para as rochas de Tunas

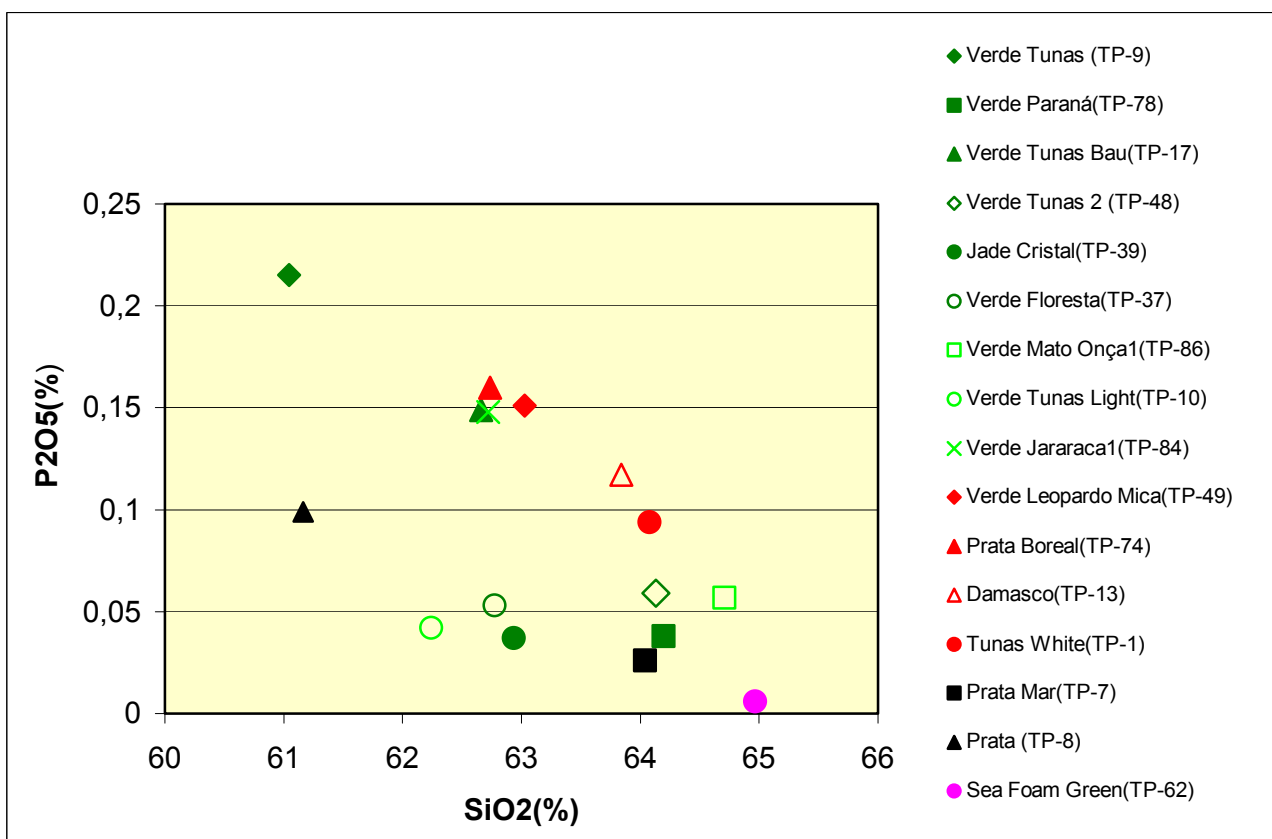


Figura 26– Diagrama P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> versus SiO<sub>2</sub> para as rochas de Tunas.

Os ID calculados nas normas CIPW apresentam valores superiores a 80% para todos os sienitos amostrados, evidenciando o caráter mais evoluído dessas rochas em relação aos monzodioritos e gabros. Os maiores valores de mg ( $MgO/Mg+FeO$ ) nas amostras de gabro e monzodiorito, corroboram esse fato. Na fácies Verde Tunas, os valores de ID variam do menor valor encontrado para os sienitos (83,3%) ao maior (95,10%), não permitindo uma diferenciação com as demais fácies, que apresentam valores de ID entre esses limites.

A presença de acmita normativa em algumas amostras sieníticas, das fácies Verde Tunas, Verde Mar e Pegmatóide evidencia a maior afinidade alcalina desses sienitos em relação aos sienitos da fácies Boreal, que não apresentam acmita normativa. Entre estes sienitos os mais alcalinos são o Verde Paraná e Jade Cristal, da fácies Verde Tunas, seguidos pelo pegmatóide Sea foam Green e Verde Mar.

Além disso, os sienitos da fácies Boreal, de modo geral, são os que apresentam as maiores porcentagens em quartzo normativo, evidenciando uma natureza mais saturada dessas rochas em relação às demais. Os sienitos dessa fácies que não apresentam quartzo normativo, exibem nefelina, em sua composição, confirmando sua natureza insaturada.

Para as mesmas amostras analisadas quimicamente, foram realizadas determinações da mineralogia (medição dos parâmetros cristalinos) por meio da Difração de raios X pelo Método do Pó, utilizando o difratômetro da marca PHILIPS modelo PW 1830. Na interpretação dos resultados aplicou-se o “software” **X’Pert HighScore Plus**, da PANalytical.

Para as amostras da fácies Verde Tunas, a mineralogia encontrada é apresentada na Tabela 6. De modo geral observa-se que todas as amostras apresentam albita e o feldspato potássico que varia entre o ortoclásio nas variedades Verde Tunas e Verde Floresta, microclínio nas amostras de Verde Tunas Light, Verde Paraná, Jade Cristal e Verde Jararaca, e sanidina na amostra de Verde Tunas da BAU. A presença dos dois feldspatos alcalinos, sódicos e potássicos, é definida petrograficamente como intercrescimentos peritéticos. Os piroxênios determinados são a augita, para as amostras de Verde Tunas, Tunas Light e Verde Floresta, egirina para as amostras de Verde Paraná, Jade Cristal e Verde Jararaca, e egirina-augita para o Verde Tunas BAU. Com exceção do Verde Floresta, todas as

variedades apresentaram como anfibólio riebeckita, bem como biotita. A única amostra que apresentou quartzo em sua composição foi o Jade Cristal.

Tabela 6 – Determinação da mineralogia da fácies Verde Tunas por difratometria.

Amostras	Ortoclásio	Microclínio	Sanidina	Albita	Augita	Egirina	Egirina Augita	Riebeckita	Biotita	Quartzo
TP - 9										
TP - 10										
TP - 17										
TP - 37										
TP - 39										
TP - 48										
TP - 78										
TP - 84										
TP - 85										

Da mesma forma, pequenas variações mineralógicas são verificadas nas variedades ornamentais das fácies Verde Mar e Boreal, sendo os resultados apresentados nas Tabelas 7 e 8, a seguir:

Tabela 7 – Determinação da mineralogia da fácies Verde Mar por difratometria

Amostras	Ortoclásio	Microclínio	Sanidina	Albita	Augita	Egirina	Egirina Augita	Riebeckita	Biotita	Quartzo
TP - 7										
TP - 8										

Tabela 8 – Determinação da mineralogia da fácies Boreal por difratometria

Amostras	Ortoclásio	Sanidina	Albita	Augita	Egirina	Egirina Augita	Riebeckita	Richterita	Biotita	Quartzo
TP - 1										
TP - 13										
TP - 42										
TP - 49										
TP - 74										

Os resultados obtidos não permitem estabelecer uma precisa diferenciação entre as fácies, baseando-se nos aspectos mineralógicos dessas rochas, uma vez que similaridade entre elas é evidente.

Os difratogramas das amostras analisadas, divididas em fácies, são apresentados no Anexo II da dissertação.



## 10 – CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

Quando em uso, as rochas ornamentais e de revestimento são submetidas às mais variadas solicitações, tais como: atrito, impacto, desgaste, ação das intempéries, ataques por produtos de limpeza e líquidos agressivos etc., por isso a precisa caracterização tecnológica desses materiais torna-se fundamental para a sua utilização correta, segura e econômica.

Segundo Arrais (2001) as propriedades tecnológicas das rochas ornamentais devem ser consideradas, fundamentalmente sob três aspectos principais:

- índices de qualidade;
- parâmetros a serem utilizados nos cálculos de materiais para a construção civil;
- especificações fixadas para os diversos tipos de emprego das rochas.

Pode-se dizer que melhor será a qualidade da rocha, ou o seu desempenho em serviço, quanto menores forem:

- a presença e os teores de minerais alterados ou alteráveis, friáveis ou solúveis que possam comprometer seu uso, durabilidade e seu lustro;
- a absorção d'água;
- a porosidade;
- o desgaste por abrasão (do tipo Amsler);
- o coeficiente de dilatação térmica.

Além disso, melhor será a qualidade dessa rocha, quanto maiores forem:

- a resistência à compressão uniaxial;
- o módulo de elasticidade;
- a resistência ao impacto;
- a resistência à flexão (módulo de ruptura);
- a resistência ao congelamento e degelo;
- a velocidade de pulso ultra-sônico.

Como parâmetros a serem utilizados nos cálculos de materiais para os projetos de construção, merecem destaque a resistência à flexão e a massa específica, cujos valores são incorporados diretamente no cálculo das dimensões e espessuras das chapas fixadas com grampos no revestimento externo (fachada) de

edifícios.

Especificações fixando limites para a aceitação das rochas como material de construção de alto desempenho, são geralmente estabelecidas por entidades normatizadoras (nacionais e internacionais), tais como: ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), ASTM (American Society for Testing and Materials), DIN (Deutsch Institut für Normung), AFNOR (Association Française de Normalization), AENOR (Asociación Española de Normalización), BS (British Standard) etc.

Cabe salientar que os valores estabelecidos nos diversos ensaios diferem entre as diversas entidades. Estes resultados são baseados em experiência de serviço, histórico do desempenho do tipo de rocha ou, ainda, pela experimentação sob as condições exigidas pelo projeto (Arrais, 2001).

A análise comparativa entre os resultados obtidos dos diferentes ensaios tecnológicos e os parâmetros prefixados pelas diversas normas, possibilita a quantificação e qualificação dos materiais amostrados.

No presente capítulo serão descritos os ensaios tecnológicos realizados na caracterização de rochas ornamentais do Complexo de Tunas, apresentando os procedimentos utilizados bem como as normas que os regeram.

## 10.1 – DESCRIÇÃO METODOLÓGICA DOS ENSAIOS TECNOLÓGICOS

Foram escolhidas três variedades comerciais dos sienitos explotados de Tunas, pertencentes a diferentes fáceis plutônicas anteriormente definidas, sendo cada uma a principal variedade comercial do tipo faciológico correspondente. Assim foram selecionados os seguintes materiais: Verde Tunas, Verde Boreal e Prata Mar. Da fáceis Pegmatóide não se efetuaram os ensaios para o material *Sea Foam Green*, uma vez que ele apresenta uma série de cavidades, que prejudicariam a determinação dos índices físicos, bem como os resultados de resistência à compressão, flexão e impacto.

Dos materiais selecionados foram retirados das pedreiras, três blocos de formato cúbico de cada material, no tamanho 30X30X30cm, para a confecção dos corpos de prova de tamanhos e formatos específicos para cada tipo de ensaio, realizados no Laboratório de Rochas Ornamentais da UNESP – Universidade

Estadual Paulista – Campos Rio Claro (Fotos 62–a e 62-b), obedecendo as normas da ABNT.

Além dos materiais citados anteriormente, serão apresentados os resultados dos ensaios realizados com uma variedade de brecha magmática do tipo Lajeado 3, descrita por Vasconcellos (1991), denominada comercialmente de “Andrômeda”. Esses ensaios foram feitos pela empresa ACO Mineração Ltda, no Laboratório de Petrologia e Tecnologia de Rochas do IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, segundo as normas da ABNT.



Fotos 62a e 62b - Corpos de prova para ensaios de caracterização tecnológica.

#### 10.1.1 – Ensaio de Índice Físico de Rochas

No setor de rochas ornamentais, os índices físicos considerados abrangem a massa específica aparente, absorção d'água e porosidade aparente. Estes índices definem relações básicas entre a massa e o volume das amostras de um determinado tipo de rocha.

O termo “aparente”, utilizado para a massa específica (densidade) e porosidade, indica que o volume medido para as determinações é relativo ao volume total das amostras analisadas, ou seja, o volume de sólidos mais o volume de poros (espaços vazios).

A massa específica aparente é expressa em  $\text{g/cm}^3$ ,  $\text{kg/m}^3$  ou  $\text{t/m}^3$ . A porosidade aparente e absorção d'água são expressas em porcentagem, indicando respectivamente a porcentagem total de espaços vazios em um volume de rocha e a

porcentagem de espaços vazios intercomunicantes nesse mesmo volume.

O índice de absorção d'água nunca é, portanto, superior ao índice de porosidade aparente, destacando-se que uma rocha com alta porosidade não tem, necessariamente, alta absorção d'água, pois seus poros e cavidades podem não ser comunicantes.

A massa específica aparente e a porosidade aparente fornecem indicações sobre a resistência físico mecânica da rocha, mediante esforços compressivos e de flexão. O índice de absorção d'água, por sua vez, indica a capacidade da rocha ser encharcada por líquidos.

A norma utilizada para a realização destes ensaios é a NBR 12766/92 da ABNT. Os corpos de prova são constituídos por cubos de dimensões próximas de (5X5X5 cm), em número de 10 (dez), devendo pesar entre 300 ou 400 g, sendo o ideal de 350g .

Os ensaios devem seguir a seguinte seqüência pré-estabelecida:

- lavar os corpos de prova em água corrente;
- colocar os corpos de prova em estufa ventilada, a 100 -110°C por 24 h;
- retirar os corpos de prova da estufa e deixar resfriar à temperatura ambiente;
- pesar os corpos de prova individualmente ao ar, com precisão de 0,01g, obtendo-se a massa seca;
- colocar os corpos de prova numa bomba de vácuo e proceder a saturação por 3h; retirar os corpos de prova da água, enxugar suas superfícies com um pano absorvente e pesar ao ar, obtendo a massa saturada;
- pesar os corpos de prova individualmente, na condição submersa, utilizando-se o dispositivo da balança para pesagem hidrostática, amarrando-se os corpos de prova num fio de massa desprezível, obtendo-se a massa submersa.

Através das seguintes fórmulas foram calculados os índices físicos para cada um dos materiais.

Massa Específica Aparente Seca:

$$P_{seca} = \frac{\text{Peso A}}{\text{Peso B} - \text{Peso C}} (\text{Kg/m}^3)$$

Massa Específica Aparente Saturada:

$$P_{\text{sat}} = \frac{\text{Peso B}}{\text{Peso B} - \text{Peso C}} (\text{Kg/m}^3)$$

Porosidade Aparente

$$P_{\text{ap}} = \frac{\text{Peso B} - \text{Peso A}}{\text{Peso B} - \text{Peso C}} \times 100\%$$

Absorção d'água Aparente:

$$Ab = \frac{\text{Peso B} - \text{Peso A}}{\text{Peso A}} \times 100\%$$

Onde:

A = Massa Seca (massa do corpo de prova seco)

B = Massa Saturada (massa do corpo de prova saturado)

C = Massa Submersa (massa do corpo de prova+ massa de água -empuxo)

Tabela 9 : Resumo dos índices físicos

Material	Massa específica aparente seca (g/cm <sup>3</sup> )	Massa específica aparente saturada (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidade Aparente(%)	Absorção d'água(%)
Verde Tunas	2,70	2,70	0,42	0,16
Verde Boreal	2,64	2,64	0,94	0,36
Prata Mar	2,61	2,62	1,02	0,39
Brecha Vulc. (Andrômeda)	2,58	2,61	2,83	1,10





Foto 63a - Corpos de prova sendo retirados da estufa



Foto 63b - Saturação dos corpos de prova em bomba de vácuo

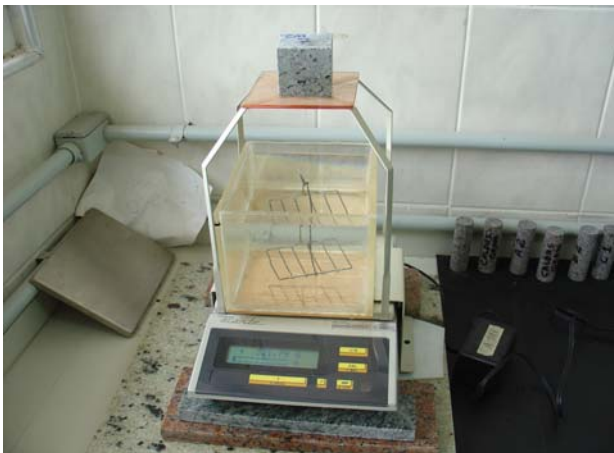


Foto 63c - Corpo de prova saturado sendo pesado



Foto 63d - Corpo de prova sendo pesado submerso

#### 10.1.2 – Ensaio de Determinação do Desgaste por Abrasão (Amsler)

O teste Amsler mede a resistência dos materiais frente à solicitação abrasiva, sendo efetuado com dois corpos de prova, na forma de placa de 7x7x2 cm, são friccionados sobre um disco metálico em giro, sobre o qual é lançada areia quartzosa granulometricamente selecionada (Areia Normal Brasileira Nº 50 – NBR 7214). A medida de desgaste, expressa em milímetros, é aferida após 500 e 1.000 giros da roda de fixação dos corpos de prova no equipamento de ensaio (Fotos 64 e 65 ).



Foto 64 – Corpo de prova sendo medido para Ensaio de Desgaste de Amsler.



Foto 65– Ensaio de Desgaste de Amsler.

A resistência ao desgaste é normalmente proporcional à dureza, na escala de Mohs, dos minerais constituintes da rocha. Rochas silicatadas (graníticas) são

mais resistentes que as carbonatadas (mármore e travertinos). Entre os granitos, será tanto maior a resistência quanto maior a quantidade de quartzo. Entre os mármore, será tanto maior a resistência quanto maior o caráter dolomítico (magnesiano).

A norma utilizada para este teste é a NBR 12042/92 da ABNT. Um resumo dos resultados dos ensaios é apresentado a seguir:

Tabela 10: Resultados dos ensaios de Desgaste de Amsler

Desgaste de Amsler(mm)	Percurso	Verde Tunas	Verde Boreal	Prata Mar	Brecha Vulc. (Andrômeda)
	Após 500 m	0,34	0,38	0,34	0,43
	Após 1.000m	0,75	0,72	0,74	0,80

#### 10.1.3 – Ensaio de Resistência ao Impacto de Corpo Duro

O ensaio de resistência ao impacto de corpo duro (Impacto Belga) é determinado através da altura de queda de uma esfera de aço que provoca ruptura do corpo de prova e determina a resistência da rocha ao impacto. Este ensaio obedece as normas segundo o método NBR 12764/92c da ABNT e é aplicado às rochas que se destinam ao uso como materiais de revestimento de edificações, além de pias e bancadas.

Os corpos de prova devem ser em número de cinco, sob a forma de placas retangulares com dimensões de 20x20x3cm com superfícies paralelas. O corpo de prova é assentado sobre um colchão de areia de 10 cm e recebe golpes de uma esfera de aço de 1 kg em queda livre, mas de alturas crescentes, até que a placa se fracture .

Os resultados obtidos com os materiais do Complexo de Tunas são apresentados abaixo (Tabela 11):

Tabela 11 - Resultados do ensaio de Resistência ao impacto do corpo duro

Resistência ao Impacto de corpo duro (m)	Verde Tunas	Verde Boreal	Prata Mar	Andrômeda
	44,0	43,0	49,0	47,0



Foto 66 – Equipamento para ensaio de resistência ao impacto do corpo duro



Foto 67 – Corpo de prova sendo rompido.

#### 10.1.4 – Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial

Consiste em submeter os corpos de prova ao esforço compressivo em uma prensa hidráulica, para obter a variabilidade dos valores de tensão de ruptura. Este ensaio é normalizado de acordo com a Norma NBR 12767/92e da ABNT.

Os corpos de prova, em número de cinco, devem apresentar formato cúbico, de aresta entre 7,0 a 7,5 cm, e relação de dimensões entre base e altura de 1:1 e ângulos entre duas faces consecutivas de  $90 \pm 3^\circ$ .

A tensão de ruptura é determinada em corpos de prova colocados entre os pratos da prensa hidráulica, aos quais são aplicados esforços crescentes, segundo uma taxa de carregamento de aproximadamente 0,6 MPa/s até que ocorra a ruptura do corpo de prova.

A tensão de ruptura na compressão é determinada pela relação:

$$C = W / A$$

Onde:

C = tensão de ruptura (MPa)

W = força de ruptura (kN)

A = área de carga do corpo de prova (m<sup>2</sup>)

A tensão de ruptura, bem como outros parâmetros de resistência mecânica, assume, para rochas destinadas a material de construção, a função de propriedades índices, ou seja, propriedades que permitem, a partir de valores apresentados, qualificar tecnologicamente as rochas (Frazão, 2002).

Os resultados desse ensaio realizado com as rochas ornamentais do Complexo Alcalino de Tunas são apresentados na Tabela 12 abaixo.

Tabela 12: Resultados dos ensaios de Resistência à Compressão Uniaxial

Resistência à Compressão Uniaxial (Mpa)	<b>Verde Tunas</b>	<b>Verde Boreal</b>	<b>Prata Mar</b>	<b>Andrômeda</b>
	174,77	140,46	138,69	93,70





Foto 68 – Corpo de prova do ensaio de compressão uniaxial.



Foto 69 – Prensa hidráulica utilizada no ensaio.



Foto 70 – Tensão sendo aplicada ao corpo de prova.



Foto 71 – rompimento do corpo de prova.

#### 10.1.5 – Ensaios de Determinação da Resistência à Flexão

Os ensaios de resistência á flexão visam determinar sob qual tensão é

provocada a ruptura da rocha, quando submetida a esforços fletores, sendo caracterizada por dois tipos de ensaios: o de flexão por carregamento de três pontos (Módulo de ruptura) e o de flexão por carregamento de quatro pontos.

#### 10.1.5.1 - Flexão em 3 Pontos

O ensaio de carregamento de flexão de três pontos orienta o cálculo da espessura em função da área das placas de rochas que sofrem esforços fletores, durante o transporte ou após sua colocação em fachadas. Este ensaio é executado de acordo com as diretrizes da Norma NBR 12763/92b. Este parâmetro indica a tensão máxima de flexão que a rocha suporta e influencia no tamanho e espessura das placas externas (Arrais, 2001).

Os corpos de prova, em número de cinco, de formato prismático, devem ter dimensões próximas de 20X10X40cm, devendo ter ficado em estufa por 24 horas depois de serrados. Para o rompimento dos corpos, devem ser colocados suportes (cutelos), paralelos entre si e perpendiculares ao eixo maior do corpo de prova. O corpo de prova é colocado entre os cutelos inferiores (de ação), espaçados de 180 mm, e um cutelo superior, sendo efetuada a compressão até o rompimento do corpo de prova.

A tensão de ruptura na flexão é determinada pela expressão:

$$R = \frac{3PL}{2bd^2}$$

Onde:

R = tensão de ruptura na flexão (Mpa)

P = força de ruptura (kN)

L = distância entre os cutelos de ação(m)

b = largura do corpo de prova (m)

d = espessura do corpo de prova (m)

Para as variedades ornamentais de Tunas os resultados são os seguintes (Tabela 13):

Tabela 13 - Resultados dos ensaios de resistência à flexão de três pontos para as rochas ornamentais de Tunas/PR

Material	Verde Tunas	Verde Boreal	Prata Mar	Andrômeda
Módulo de Ruptura (Flexão 3 Pontos) (Mpa)	16,59	13,27	7,86,	8,53

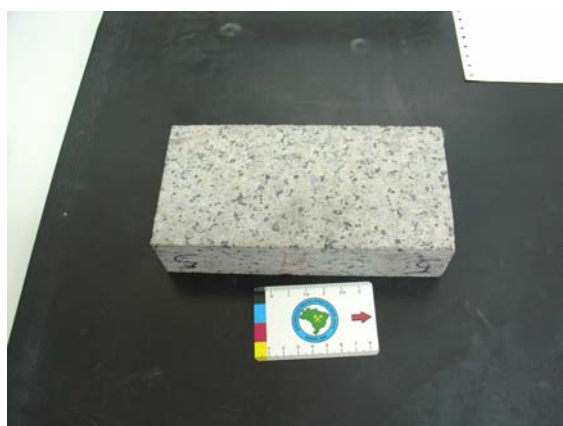


Foto 72 - Corpo de prova utilizado no ensaio de Tração nos 3 Pontos.



Foto 73 – Corpo de prova submetido a tensão de carregamento



Foto 74 – Rompimento do corpo de prova em ensaio de resistência à flexão de três pontos

#### 10.1.5.2 - Flexão nos 4 Pontos

Os ensaios de flexão por carregamento de quatro pontos, orientam o cálculo da espessura em função da área das placas de rochas que sofrem esforços fletores, durante o transporte ou após sua colocação em fachadas. Este ensaio é executado de acordo com as diretrizes da Norma C880 ASTM, 1980

Os corpos de prova, em número de cinco para cada material, devem apresentar as seguintes medidas: 40X10X3 cm. Para o rompimento dos corpos de prova, estes devem ser colocados em suportes (cutelos) paralelos entre si e perpendiculares ao eixo maior do corpo de prova. Então é abaixado o cutelo de compressão da prensa, que deverá estar a média distância dos suportes de apoio e paralelos a este. Neste ensaio, os cutelos de compressão encontram-se distanciados de 180 mm.

Os cálculos da tensão de ruptura de flexão são determinados após o rompimento dos corpos de prova, utilizando-se a seguinte fórmula para a máxima tensão de flexão suportada pela amostra:

$$R = \frac{3PL}{4bd^2}$$

Onde:

R = tensão de ruptura na flexão (Mpa)

P = força de ruptura (kN)

L = distância entre os cutelos da base(m)

b = largura do corpo de prova (m)

d = espessura do corpo de prova (m)

Para os materiais de Tunas, os resultados foram os seguintes (Tabela 14):

Tabela 14 - Resultados do ensaios de Resistência à Flexão de quatro pontos para as rochas ornamentais de Tunas/PR

Material	Verde Tunas	Verde Boreal	Prata Mar	Andrômeda
Resistência à flexão (4 Pontos) (Mpa)	13,41	6,56	8,05	-



Foto 75 – Corpo de prova de ensaio de resistência a flexão em quatro pontos



Foto 76 – Corpo de prova submetido a esforço de carregamento.



Foto 77 – Corpo de prova rompido.

#### 10.1.6 – Velocidade de Propagação de Pulso Ultra-sônico

Os materiais rochosos são passíveis de permitir a propagação de ondas ultra-sônicas, que são aquelas cuja frequência supera o nível audível (~24 kHz).

A propagação da onda se dá em velocidades diferentes, conforme a maior ou menor isotropia do material, pois é influenciada pelas estruturas, pelo grau de



alteração, pela porosidade e pela presença ou não de água nos poros (Arrais, 2001).

Portanto, para um determinado tipo petrográfico, a velocidade será menor se o percurso da onda se der perpendicularmente à estrutura marcante, se a rocha for muito porosa, se for de alto grau de alteração e se os poros não contiverem água.

O tipo de onda mais comumente adotado em ensaios laboratoriais, é a longitudinal (ou de compressão), chamada onda P.

A propagação de ondas ultra-sônicas não é uma solicitação típica em revestimento no Brasil, porém a sua determinação em placas que se destinam a esse uso serve como um índice de qualidade.

Isto se deve ao fato de que as altas velocidades de propagação de ondas P sugerem alto grau de sanidade, ou de integridade da rocha que se pretende utilizar. Além disso, trata-se de um ensaio não destrutivo e de fácil execução, desde que se disponha de equipamento apropriado. Este ensaio tecnológico é executado de acordo com diretrizes da norma ASTM D 2845.

No presente trabalho foram feitas medidas de propagação das ondas nos corpos de prova destinado aos ensaios de compressão uniaxial e de módulo de ruptura (Flexão de 3 Pontos) (Fotos 78 e 79 ).

Os resultados medidos são apresentados abaixo (Tabela 15):

Tabela 15: Velocidade de propagação do pulso ultra-sônico em corpos de prova de rochas ornamentais do complexo alcalino de Tunas/PR.

<b>Velocidade de propagação do pulso ultra-sônico (m/s)</b>	<b>Verde Tunas</b>	<b>Verde Boreal</b>	<b>Prata Mar</b>	<b>Andrômeda</b>
Em cps de compressão uniaxial	6128,28	5666,36	5183,62	4621,0
Em cps de módulo de ruptura	5682,84	4872,28	5103,39	-



Foto 78: Medida de velocidade de propagação do pulso ultrassônico em corpo de prova de 3 Pontos.



Foto 79: Medida de velocidade de pulso ultrassônico em corpo de prova de Compressão uniaxial.

## 10.2 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A Tabela 16 apresenta uma síntese dos índices físicos e mecânicos determinados para os materiais selecionados do Complexo Alcalino de Tunas, bem como valores sugeridos, em literatura especializada, por Frazão e Farjallat (1996), como adequados para as rochas de revestimento brasileiras.

A partir de comparações feitas entre os resultados obtidos (Fig. 27) pelos ensaios de caracterização das rochas do Complexo Alcalino de Tunas, com os valores sugeridos por Frazão e Farjallat (1996) para as rochas silicatadas brasileiras, as seguintes observações podem ser feitas:

- Com relação aos índices físicos, os sienitos Verde Tunas e Verde Boreal apresentam os melhores resultados em todos os ensaios, sendo que o Verde Tunas apresenta a melhor performance.

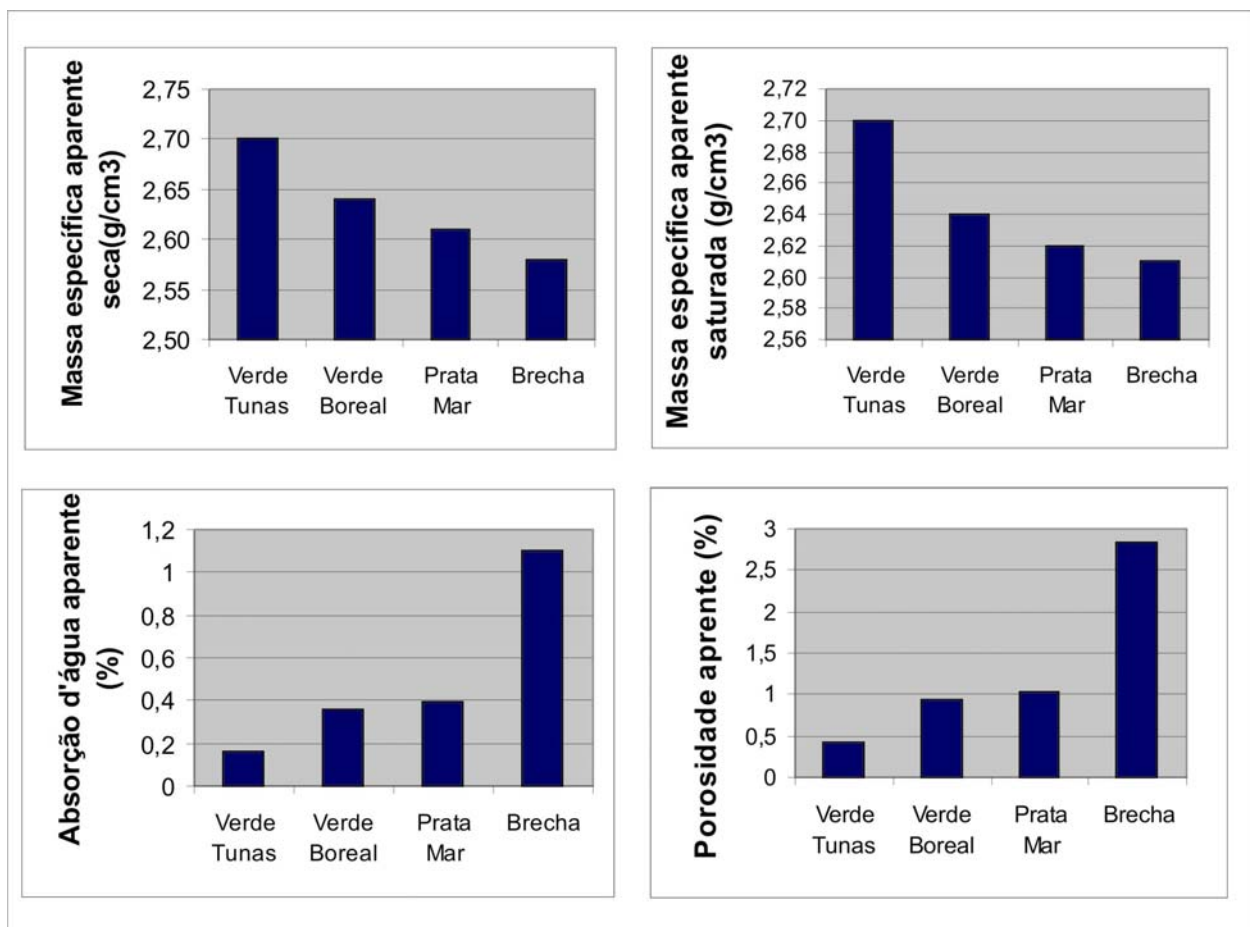


Figura 27 - Comparação entre os índices físicos das rochas de Tunas/PR.

Tabela 16 – Resumo dos resultados dos Índices Físicos e Parâmetros Mecânicos obtidos nos ensaios de caracterização tecnológica das rochas ornamentais do Complexo Alcalino de Tunas/PR

<b>Propriedades</b>	<b>Nome Comercial</b>	<b>Verde Tunas</b>	<b>Verde Boreal</b>	<b>Prata Mar</b>	<b>Brecha (Andrômeda)</b>	<b>Valores sugeridos Frazão &amp; Farjallat (1996)</b>
ÍNDICES FÍSICOS	Massa esp. aparente seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,70	2,64	2,61	2,58	<b>≥ 2,55</b>
	Massa esp. aparente saturada (g/cm <sup>3</sup> )	2,70	2,64	2,62	2,609	
	Porosidade Aparente (%)	0,42	0,94	1,02	2,83	<b>≤ 1,0</b>
	Absorção d'água aparente (%)	0,16	0,36	0,39	1,10	<b>≤ 0,40</b>
Desgaste	após percurso de 500 m	0,34	0,38	0,34	0,43	
de Amsler	após percurso de 1000m	0,75	0,72	0,74	0,80	<b>≤ 1,0</b>
Resistência ao impacto de corpo duro(m)		44,0	43,0	49,0	47,00	<b>≥ 30</b>
Resistência à Compressão Uniaxial (MPa)		174,77	140,46	138,69	93,70	<b>≥ 100,0</b>
Resistência à Flexão (MPa) - 4 Pontos		13,41	6,56	8,05		
Módulo de Ruptura (MPa) - Flexão 3 Pontos		16,59	13,27	7,86	8,53	<b>≥ 10,0</b>
Velocidade de Propagação de Pulso Ultrassônico						
	em cps de Compressão Uniaxial (m/s)	6128,28	5666,36	5183,62	4621,00	<b>≥ 4.000,0</b>
	em cps de Módulo de Rupt.(4 Ptos) (m/s)	5682,84	4872,28	5103,39		
	em cps de Resist. Flexão(3 Ptos) m/s	5862,05	5355,31	4975,54	4705,00	

- O sienito Prata Mar apresenta um grau de porosidade ligeiramente acima do padrão estabelecido, provavelmente em função de existência de microfraturas, que ao contrário do Verde Tunas, não se apresentam preenchidas por material ferruginoso e, sim por carbonatos. Esse valor de porosidade traduz uma grande susceptibilidade ao ataque dos seus minerais por água ou outros agentes químicos, uma vez que a área de contato solução-mineral é grande. Uma evidência disso foi constatada com experiências de tingimento de ladrilhos, feitas pela Marmoraria Água Verde, com esse material. Ladrilhos de Prata Mar foram mergulhados em solução de corante azul, que foi assimilada pelo material com relativo sucesso (Foto 80).

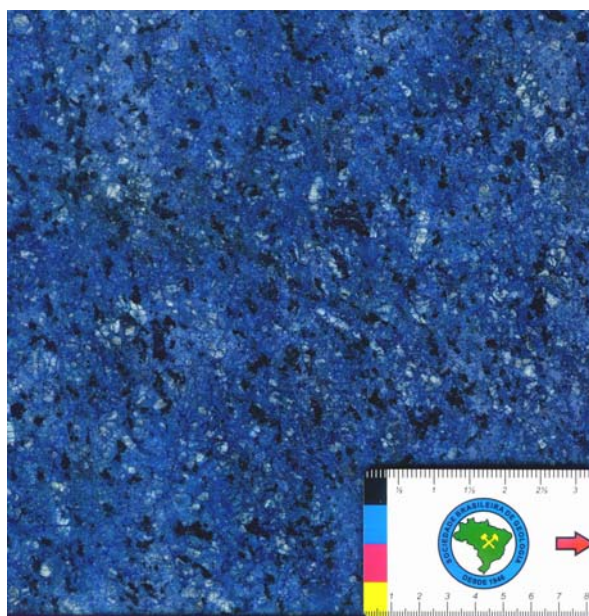


Foto 80 – Ladrilho de Prata Mar tingido.

- A brecha vulcânica Andrômeda apresentou índices de porosidade e absorção d'água muito acima dos valores estabelecidos. Esses valores elevados podem favorecer a alteração da rocha pela percolação de água, seja no beneficiamento, seja no uso. A heterogeneidade da rocha talvez seja uma explicação para esses valores.
- Quanto aos ensaios de desgaste abrasivo, o material Verde Boreal apresentou o melhor resultado (Fig. 28), entretanto, como todos os materiais ensaiados encontram-se dentro dos padrões sugeridos, todos se aplicam à



utilização como revestimento de pisos de alto tráfego, mesmo a brecha, apesar de sua heterogeneidade .

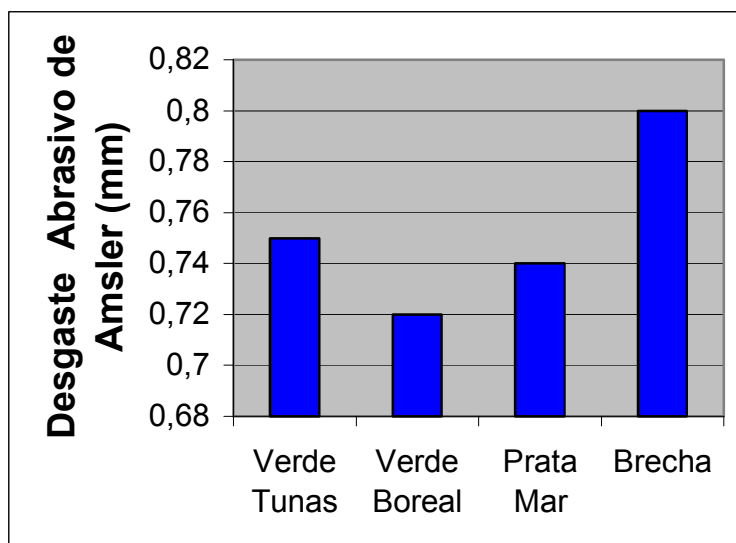


Figura 28 - Resultados do ensaio de desgaste abrasivo de Amsler das rochas de Tunas/PR.

- Nos ensaios de Resistência ao Impacto de corpo duro, apesar do sienito Prata Mar ter apresentado o melhor resultado (Fig. 29), a sua aplicação em pisos de escadas, prateleiras pias e balcões, deve ser avaliada juntamente com a sua susceptibilidade à percolação de líquidos. Os demais materiais apresentam resultados satisfatórios.

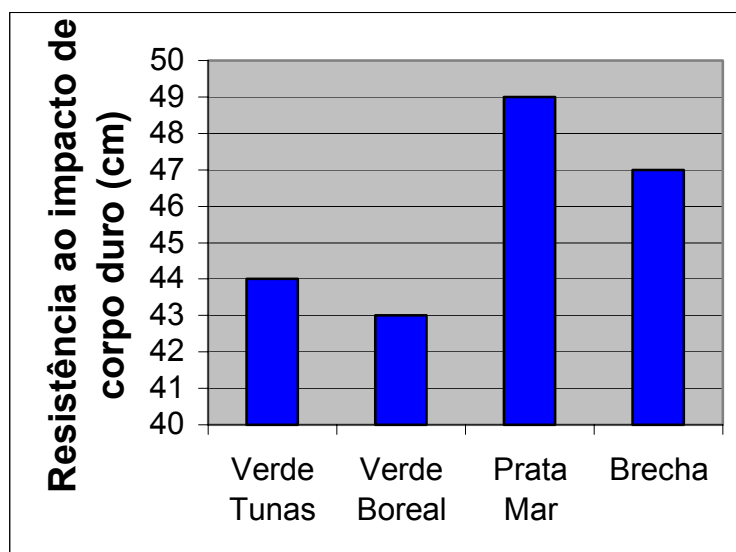


Figura 29 - Resultados do ensaio de Resistência ao Impacto de Corpo Duro para as rochas de Tunas/PR.

- Nos ensaios de resistência à compressão uniaxial, realizados no estado seco (Fig. 30), todos os sienitos apresentam resultados satisfatórios, enquanto que a brecha vulcânica tem um resultado abaixo do valor sugerido por Frazão e Farjallat (1996), indicando baixa resistência mecânica a esforços de ruptura. Um dos parâmetros que influencia a resistência à compressão das rochas é a dimensão de seus grãos. Aquela que apresentar grãos de dimensões menores apresentará maior resistência à compressão, e isto é explicado pelo fato de que numa rocha de grãos menores, existe um maior número de superfícies intercristalinas que se oporão à propagação das fissuras que precedem à ruptura (Houpert, 1979). Comparando os sienitos, verifica-se que o Prata Mar, que apresenta cristais de feldspatos de maiores dimensões que os outros, tem uma resistência menor. No caso da brecha, o que reduz o valor da resistência à compressão é a heterogeneidade dos clastos de que ela é composta. Uma correlação direta entre a Velocidade de Propagação do Pulso Ultrassônico e a Resistência à Compressão ilustra essa situação (Fig. 31). Nos materiais mais isótropos, a velocidade de propagação é maior, bem como a resistência. Na brecha, que é heterogênea e anisótropa, a velocidade de propagação do pulso é menor, indicando, portanto, menor resistência à compressão. A porosidade também afeta a resistência da rocha, bem como a velocidade de propagação do pulso, sendo que quanto mais porosa é a rocha, menor será a sua resistência à compressão, e menor será a velocidade de propagação de um pulso que atravessar a mesma, uma vez que existe uma quantidade maior de vazios entre os cristais, bem como as microfissuras intra e intergrãos, retardando assim a propagação da mesma. Essa relação indireta entre o aumento da porosidade e o decréscimo da velocidade de propagação do pulso ultra-sônico pode ser observada na figura 32, para as rochas ornamentais de Tunas.

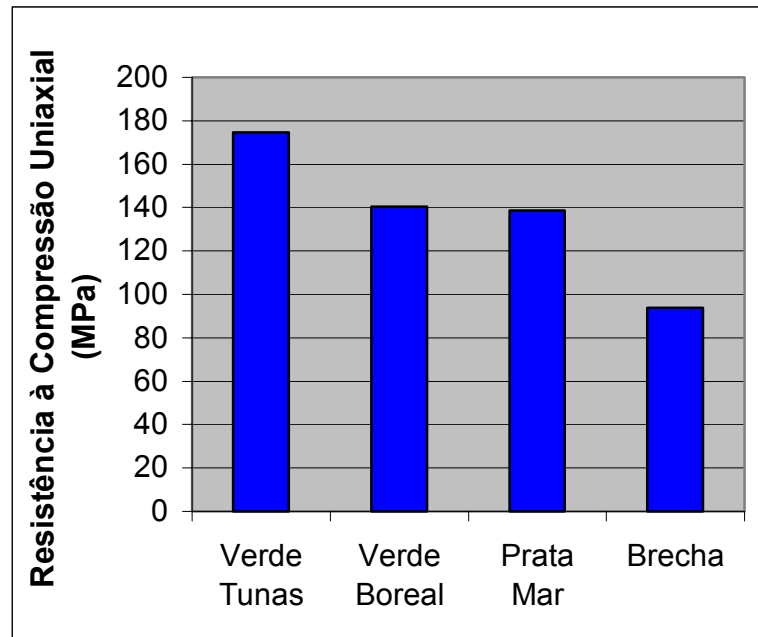


Figura 30 - Comparação da resistência à compressão uniaxial dos materiais de Tunas/PR.

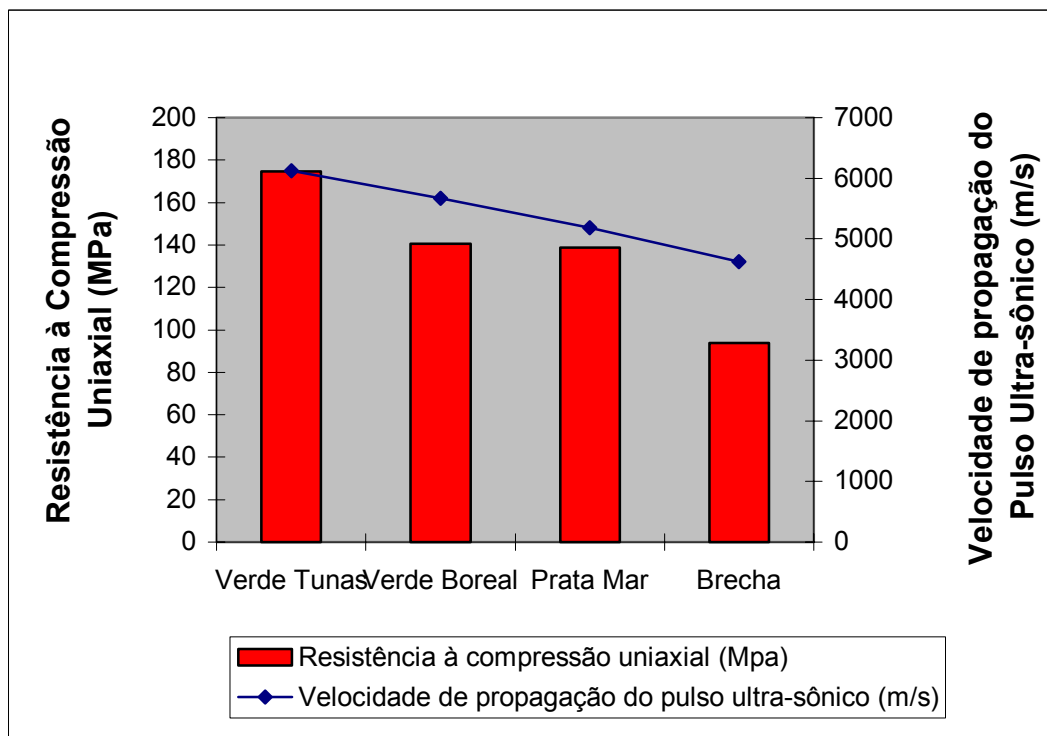


Figura 31 - Correlação entre a resistência à compressão uniaxial e a velocidade de propagação do pulso nas rochas de Tunas/PR.

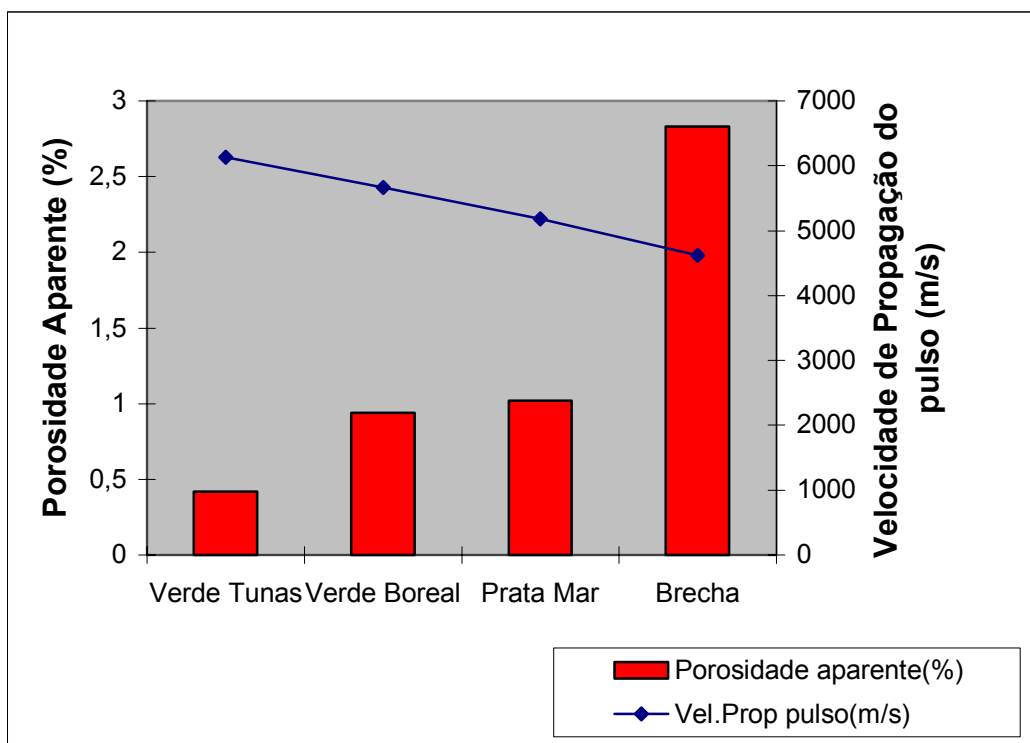


Figura 32 - Correlação entre a porosidade aparente e a velocidade de propagação do pulso nas rochas ornamentais de Tunas/PR

- Já nos ensaios de resistência à Tração na Flexão em 3 Pontos (Módulo de Ruptura) o sienito Prata Mar e a brecha Andrômeda apresentaram valores inferiores ao mínimo sugerido, indicando problemas com relação à resistência mecânica dessas rochas. No caso da brecha, a heterogeneidade da rocha novamente explica esse resultado. Já com o Prata Mar, uma comparação com os outros sienitos, juntamente com uma correlação entre os valores do Módulo de Ruptura e a velocidade de propagação do pulso ultra-sônico nos corpos de prova ensaiados, apontam para a existência de microfraturas e de cristais de feldspato de maior tamanho como fatores para a deficiente resistência à tração desse material (Fig. 33).

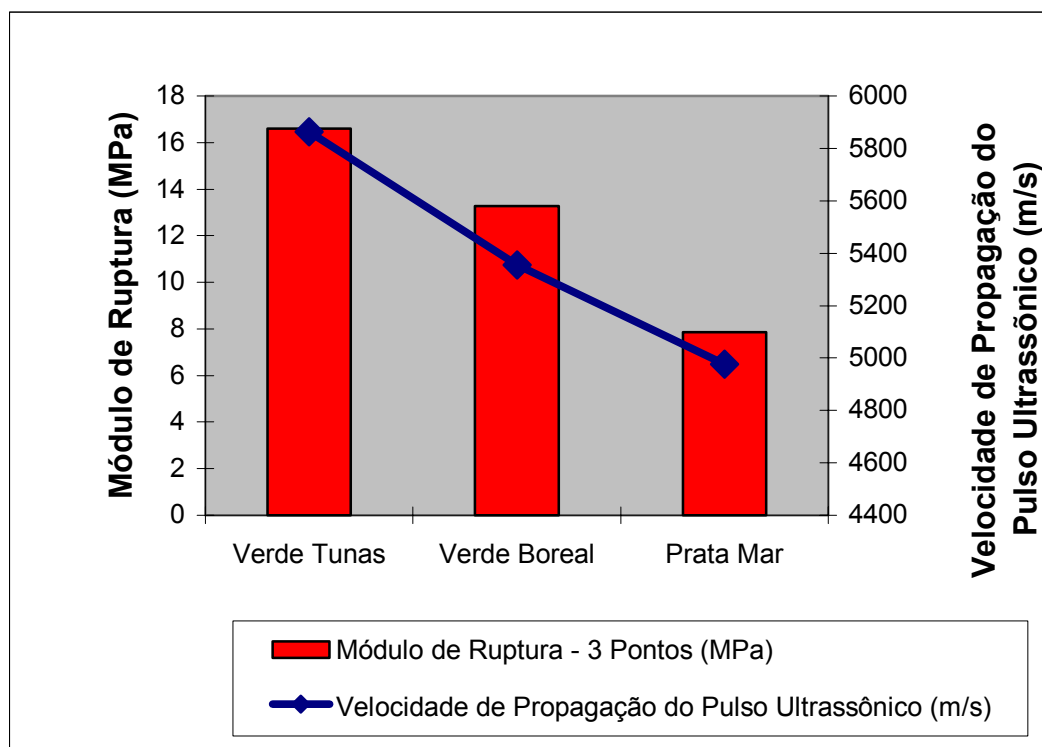


Figura 33 - Correlação entre o módulo de ruptura e a velocidade de propagação do pulso nas rochas ornamentais de Tunas.

Os dados acima discutidos, referentes aos ensaios tecnológicos, aliados aos dados petrográficos e aspectos estéticos de cada material, permitem definir claramente a utilização das rochas estudadas:

- O Verde Tunas, apresenta alta resistência a esforços de compressão, tração e flexão, bem como ao impacto, além de índices físicos e resistência ao desgaste que habilitam esse material a ser utilizado tanto como revestimentos horizontais quanto verticais de edificações, que serão valorizadas pelo aspecto estético (coloração e padrão) da rocha;
- O Verde Boreal, pelos mesmos motivos também apresenta amplas condições de ser utilizado com as mesmas aplicações do Verde Tunas, entretanto devem ser feitas ressalvas quanto a placas e chapas que apresentarem veios de microssienito, bem como alterações devido ao intemperismo atuante na rocha, principalmente nas variedades mais acinzentadas, que podem comprometer o material quanto a parâmetros de resistência;
- O sienito Prata Mar apesar de apresentar elevada resistência ao impacto, a compressão e ao desgaste, contém microfraturas, muitas vezes preenchidas



por carbonatos, que quando alterados ou dissolvidos, podem aumentar a porosidade da rocha, aumentando sua susceptibilidade à percolação por líquidos e agentes químicos e reduzir sua resistência a esforços fletores. Portanto sua utilização como revestimento, principalmente externo, deve ser analisada com maior cuidado, bem como na utilização de balcões de cozinha sujeitos a contato permanente com líquidos e exposição a agentes químicos agressivos;

- A brecha Andrômeda apresenta propriedades físicas e mecânicas que exigem especial atenção quanto a sua utilização como rocha ornamental, principalmente quanto à absorção d'água e porosidade.

## 11-MEDIÇÕES GAMAESPECTROMÉTRICAS NAS ROCHAS ORNAMENTAIS

Diariamente, o homem está exposto a fontes de radiação ambientais, provenientes da radiação cósmica, radiação terrestre, radionuclídeos cosmogênicos, além da radiação oriunda de fontes artificiais.

A radiação artificial se deve a fontes e equipamentos produzidos pelo homem, tais como radioisótopos usados na medicina, indústria e pesquisas, uso de raio X no radiodiagnóstico e na radioterapia, a precipitação radioativa de artefatos nucleares na atmosfera, na liberação de efluentes de usinas nucleares, etc.

As fontes terrestres de radiação são os radionuclídeos de longa vida, que existem na Terra desde a sua formação, e que ainda não decaíram substancialmente. Os radionuclídeos de ocorrência natural de origem terrestre estão presentes em todos os meios ambientais (solo, ar, água, materiais orgânicos), inclusive no corpo humano. Apenas radionuclídeos com meias-vidas comparáveis à idade da Terra e seus produtos de decaimento existem em quantidades significativas nestes materiais. Os mais importantes, sob o ponto de vista de exposição humana, são  $^{40}\text{K}$ ,  $^{87}\text{Rb}$ ,  $^{238}\text{U}$ , e  $^{232}\text{Th}$ , sendo que os dois últimos, por decaimento, dão origem a uma série de outros radionuclídeos (Ferreira, 2004).

As radiações emitidas por substâncias radioativas naturais são classificadas em três diferentes tipos, em função de suas energias penetrativas. Segundo Arya (1966, *apud* Ferreira, 2000), o primeiro tipo – as partículas alfa ( $\alpha$ ) – é caracterizado por uma energia muito pouco penetrativa, sendo barrado por uma lâmina fina de papel, causando ionização do ar. O segundo tipo – as partículas beta ( $\beta$ ) – apresenta energia penetrativa maior e ioniza o ar por alguns centímetros. O terceiro tipo – os raios gama ( $\gamma$ ), podem ionizar o ar até 300 metros (Wulff, 1990 *apud* Grasty, 1979), atravessando lâminas de muitos centímetros de espessura de diferentes materiais, inclusive de rochas, sendo por isso utilizado em levantamentos aerogamaespectrométricos.

Sabe-se atualmente que muitos materiais de construção, principalmente os que utilizam matéria prima de origem geológica (brita, areia, cerâmica, rochas de revestimento, cimento, etc), podem apresentar teores anômalos de radioatividade, caso possuam em sua composição minerais radioativos ou apresentem afinidade

com radioisótopos como o urânio ( $^{238}\text{U}$ ), tório ( $^{232}\text{Th}$ ) e potássio ( $^{40}\text{K}$ ) ou seus filhos radiogênicos.

Especial atenção merece o elemento radônio ( $^{222}\text{Rn}$ ), gás inerte e radioativo proveniente do decaimento do  $^{226}\text{Ra}$ , da série do  $^{238}\text{U}$ , encontrado em rochas, por ser emissor das partículas alfa e, como gás nobre, espalhar-se rapidamente por todo ambiente, tendo uma meia vida de 3,8 dias. Ele e seus filhos radiogênicos são considerados os maiores responsáveis pela exposição da população à radiação alfa e gama. O aprisionamento cada vez mais efetivo do radônio aos ambientes, agrava esse problema, devido ao seu selamento tanto nas regiões de clima frio, como nas de clima tropical, para a manutenção de aclimação artificial (Silva *et al*, 1997).

A radiação gama emitida pelos radionuclídeos das series do  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$  e seus produtos de decaimento, existentes nas rochas, representam uma das principais fontes de radiação natural externa que atingem o corpo humano. Entretanto, o nível de radiação natural do ambiente depende de condições geológicas e geográficas (Florou & Kritidis, 1992 apud Tzortzis *et al*, 2003), sendo normalmente associados níveis mais altos de radiação às rochas ígneas, como granitos, e níveis mais baixos, às rochas sedimentares. Entretanto, há exceções como rochas fosfatadas, que apresentam conteúdos em radionuclídeos relativamente altos (UNSCEAR 2000 Report).

Na crosta terrestre, o urânio se apresenta em abundância média de 3ppm (Dickson & Scott, 1997 apud Ferreira, 2000), e sua química é dominada por dois estados de valência,  $\text{U}^{+4}$  e  $\text{U}^{+6}$ . A forma mais reduzida, o  $\text{U}^{+4}$ , geralmente está contida em minerais insolúveis. Contrariamente, a forma oxidada, o  $\text{U}^{+6}$ , complexa-se com ânions como os carbonatos, sulfatos e fosfatos para formar espécies solúveis. A mobilidade do  $\text{U}^{+6}$  é modificada pela adsorção a óxidos hidratados de ferro, minerais de argila e colóides, como também pela redução a minerais de  $\text{U}^{+4}$ , quando se depara com ambientes redutores. A sua presença em rochas ocorre como: óxidos e silicatos, uraninita e uranotorita, principalmente em minerais como a monazita, a xenotima e o zircão; como quantidades traço em outros minerais formadores de rocha, ou ainda ao longo dos limites dos grãos, possivelmente como óxidos ou silicatos de urânio. Ao ser libertado dos minerais, o urânio pode ser retido em óxidos de ferro e minerais de argila, ou precipitado em condições redutoras,

formando-se os depósitos de urânio em circunstâncias favoráveis (Ferreira, 2000).

O tório apresenta concentração aproximada de 12 ppm na crosta terrestre, e apesar de apresentar dois estados de oxidação,  $\text{Th}^{+3}$  e  $\text{Th}^{+4}$ , geoquimicamente, este último é de grande importância, uma vez que o primeiro é raro na natureza e instável em ambiente aquoso (Boyle, 1982 *apud* Ferreira, 2000). A solubilidade de complexos de tório é geralmente baixa, exceto em soluções ácidas, entretanto compostos orgânicos, como ácidos húmicos, podem aumentar a solubilidade do tório em condições de pH neutro (Dickson & Scott, 1997 *apud* Ferreira, 2000). A semelhança química entre alguns elementos (zircônio, háfnio, e certos Terras Raras, especialmente o cério) com o tório, faz com que os minerais que sejam formados por esses elementos, sejam passíveis de conter tório, através de substituições iônicas. A mobilidade do tório na forma de complexos e de colóide também pode ocorrer em complexos solúveis de sulfatos, nitratos, carbonatos, fosfatos, silicatos, orgânicos etc. o tório pode ocorrer em alanita, monazita, xenotima e zircão, em níveis maiores que 1000 ppm ou em quantidades traço em outros minerais constituintes das rochas (Dickson & Scott, 1997 *apud* Ferreira, 2000). Os principais minerais que contêm tório (monazita e zircão) são estáveis durante o intemperismo, podendo acumular-se em depósitos de minerais pesados. O tório liberado durante o intemperismo pode ser retido em óxidos e hidróxidos de ferro ou titânio e em argilas. Como o urânio, o tório pode também ser transportado quando adsorvido em colóides argilosos e óxidos de ferro (Ferreira, 2000).

O potássio (K), com uma proporção de 2,35% na crosta terrestre é um elemento alcalino e mostra uma química simples. A principal ocorrência de potássio em rochas é nos feldspatos potássicos (principalmente no ortoclásio e no microclínio) e nas micas (biotita e muscovita), sendo mais freqüente em rochas félsicas (granitos) do que em rochas máficas como basaltos, dunitos e peridotitos. O comportamento do K frente ao intemperismo, determina os teores de radioelemento  $^{40}\text{K}$  nas rochas intemperizadas e nos solos. Durante o intemperismo, a maior parte do potássio é destruída nos minerais na seguinte ordem: biotita - feldspatos potássicos – muscovita, vindo a participar da formação de minerais como a illita, ou então ser adsorvido em quantidades menores em argilas. O potássio é detectado em levantamentos de raios gama pela medição do decaimento do  $^{40}\text{K}$ , que constitui 0,012% do K natural e permite uma medida direta do teor de potássio no terreno

(Ferreira, 2000).

Dentre as rochas ornamentais e de revestimento, os granitos merecem especial destaque em termos de radioatividade natural, por apresentarem maior afinidade com elementos como o urânio  $^{238}\text{U}$ , tório  $^{232}\text{Th}$  e potássio  $^{40}\text{K}$ , do que os mármore e quartzitos. As emissões radioativas devido ao urânio e potássio em mármore equivalem a cerca de um décimo do que é encontrado em granitos, ao passo que a emissão de radiação devido ao tório em mármore é praticamente a mesma que nos granitos (Chellapa, 2003).

A preocupação em se estudar os efeitos dessas emissões radioativas em rochas de revestimento e demais materiais de construção, é recente em todo o mundo. Silva *et al.* (1997) realizaram medidas de dosagem de radioatividade (alfa e gama) em amostras de rochas ornamentais brasileiras, utilizadas em revestimentos em Belém/PA, e desaconselharam o uso dos materiais “Lilás Tropical” e “Café Imperial”, por apresentarem valores de emissões radioativas próximos à dose equivalente limite por eles adotada, de  $0,17 \mu\text{Sv/h}$ . Entretanto, o mercado de rochas ornamentais brasileiro só começou a se preocupar com essa questão, a partir de incidentes como o da recusa de compradores chineses em aceitar um bloco do sienito “Marrom Guaíba” (ou “Roxo Gaúcho”) exportado para aquele país em 2001, alegando que o mesmo apresentava uma dosagem de radioatividade superior ao limite ali adotado. Outro alerta foi dado quando da publicação por Tzortzis *et al.* (2003) de um artigo com resultados de medições de dose de radiação gama em granitos importados, comercializados em Chipre, onde um granito brasileiro (“Café Brown”) apresentava valores de dose que excediam ao limite estabelecido de  $1 \text{ mSv/ano}$ , para uma exposição de 8 horas/dia. Recentemente, Anjos *et al.* (2004) realizaram medições gamaespectométricas em 95 diferentes tipos de granitos brasileiros, calculando a dose para cada um deles, obtendo valores diferentes daqueles encontrados por Tzortzis *et al.* (2003) para as mesmas rochas brasileiras, entretanto, para nenhuma das rochas ensaiadas, valores superiores à dose limite adotada de  $1 \text{ mSv/ano}$ , foram encontrados.

No presente trabalho, foram realizadas medidas de concentrações de K, eU e eTh em afloramentos de algumas variedades ornamentais dos sienitos de Tunas e de uma variedade de brecha vulcânica, numa tentativa de obtenção de diferentes respostas gamaespectométricas, nas diferentes fácies plutônicas,



definidas para as rochas do complexo.

Foram selecionadas seis variedades ornamentais, pertencentes a quatro fácies plutônicas aqui definidas, além de uma brecha, e as medidas foram tomadas em frentes de lavra ativas ou paralisadas, onde a rocha encontra-se exposta e são. Utilizou-se um aparelho gamaespectrômetro de 512 canais (GS-512 Scintrex /Geofyzika, Foto 81) que realiza as leituras em contagens por segundo (cps), sendo automaticamente transformadas em concentrações de K (%) e de eU e eTh em ppm, com base em procedimentos de calibração realizados no Instituto de Radioproteção e Dosimetria – IRD, da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN/RJ, obtidos sobre blocos de calibração descritos em Barreto *et al.* (1986). Essas medidas foram realizadas a uma distância de 0,30 m da fonte.



Foto 81 – Gamaespectrômetro GS-512 Scintrex /Geofyzika

Apesar dessas medidas não terem sido realizadas utilizando uma metodologia adequada para o cálculo de dose efetiva externa, como aquela utilizada por Anjos *et al.* (2004), os dados obtidos podem nos ajudar a avaliar se essas rochas, ao serem utilizadas como material de revestimento tendem a exceder ao limite de exposição à radiação gama recomendado, que é de 1mSv/ano.

A investigação indireta da dose de radiação a que se está sujeito, quando em contato com esses materiais, é feita pelo cálculo do Índice de Concentração de Atividade ( I ), proposto pela United Nations Scientific Committee on the Effects of

Atomic Radiation – UNSCEAR (1993) e pela European Commission Report – EC (1999), que identifica se a dose máxima de exposição foi atingida, pela comparação com o valor calculado para o índice I, dado pela fórmula:

$$\frac{C_K}{3000 \text{ Bq/kg}} + \frac{C_U}{200 \text{ Bq/kg}} + \frac{C_{Th}}{300 \text{ Bq/kg}}$$

Onde :  $C_K$  ,  $C_U$  e  $C_{Th}$  são as concentrações de potássio, urânio e tório, respectivamente, em Bq/kg (Bequeréis/quilograma)

Para o cálculo dessas concentrações, Anjos *et al.* (2004) citam que a atividade específica de uma amostra contendo 1 ppm de  $^{232}\text{Th}$  e 1 ppm de U natural é de 4,08 e 13,0 Bq/kg, respectivamente. Para o potássio natural, a concentração de 1% em peso de uma amostra, corresponde a uma atividade específica de  $^{40}\text{K}$  de 317 Bq/kg.

Valores de  $I \leq 2$  correspondem a doses de 0,3 mSv/ano, enquanto que valores de  $I \leq 6$  correspondem a uma dose de 1mSv/ano. De acordo com esse critério, materiais com  $I \geq 6$  devem ser evitados, pois correspondem a doses superiores a 1 mSv/ano.

Adotando esse critério, foram calculados os valores do índice I para as rochas de Tunas (Tabela 17), não sendo encontrados valores superiores a 2, o que indica que a radioatividade emitida por essas rochas não supera a dose efetiva limite de 1mSv/ano, encontrando-se na faixa de 0,3 mSv/ano. Anjos *et al.* (2004) chegaram a conclusão semelhante com os dados obtidos no cálculo da dose efetiva e do índice de atividade específica em amostras do sienito Verde Tunas.

Analisando os dados obtidos (Tabela 17), ressaltam-se os altos teores de tório em relação aos de urânio e potássio, apresentado pelas variedades sieníticas, bem como a faixa em que ocorre essa variação para materiais semelhantes. Nas brechas, apesar dos teores também elevados de tório, essa variação não é tão marcante.

Esse teor mais elevado em tório confere às rochas ornamentais do Complexo de Tunas vantagens em relação aos granitos ricos em urânio, pois o seu

filho radiogênico  $^{220}\text{Rn}$ (torônio) tem uma meia vida de apenas 55,61 segundos, o que faz com que ele se dissipe mais rapidamente em ambientes fechados do que o  $^{222}\text{Rn}$ (radônio), filho radiogênico do urânio.

Tabela 17 – Medidas Gamaespectrométricas e cálculo do Índice de Concentração de atividade gama para as rochas de Tunas

<b>Rochas Ornamentais</b>	CT ppm	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)	Índice de concentração de atividade gama
Verde Tunas(TP-9)	46,1	7,3	4,2	22,4	1,41
Verde Tunas(Bloco)	36,7	5,8	5,2	16,7	1,18
Verde Tunas Light (TP-10)	43,0	6,3	3,8	25,2	1,34
Verde Tunas Light1	37,7	5,1	4,4	21,1	1,16
Verde Paraná(TP-78)	35,4	5,2	4,6	19,5	1,15
Verde Boreal 1 (TP-74)	27,8	5	2,1	11,3	0,85
Verde Boreal 2	43,8	7,4	4,7	20,2	1,40
Verde Boreal Escuro	23,0	4,3	1,8	6,9	0,67
Damasco(TP-13)	43,1	6,4	4,4	24,5	1,37
Damasco(Bloco)	30,7	4,8	3,5	12,5	0,91
Verde Mar (TP-7)	39,1	6,2	3,4	19,3	1,20
PrataMar	39,6	6,0	3,9	20,3	1,22
Sea Foam Green1(TP-62)	42,7	6,6	3,2	21,9	1,28
Sea Foam Green2	58,4	8	7,6	33,5	1,86
Brecha Antena	17,4	2,3	1,8	11,5	0,56
Brecha Androm 1(TP-33)	45,5	5,9	6,3	27,6	1,46
Brecha Androm 2	28,8	3,7	4,6	16,8	0,93
Brecha Androm 3	40,2	4,3	5,7	27,7	1,27
Brecha Androm 4	34,1	4,5	4,8	17,6	1,04

\* Medidas realizadas a 0,30 m da fonte.

Sob o ponto de vista da divisão faciológica, as rochas da fácies Verde Tunas, apresentam comportamento gamaespectrométrico semelhante, com altas concentrações em tório, concentrações de urânio muito próximas em todas as variedades ornamentais e teores em potássio superiores aos de urânio, com pequenas variações entre elas (Fig.34). Vale a pena ressaltar a maior concentração em tório que nas outras variedades, apresentada pelo Verde Tunas Light, bem como a maior proximidade entre os teores de potássio e urânio na variedade Verde Paraná.

Da mesma forma, na fácies Boreal, as variedades ornamentais apresentam assinatura gamaespectrométrica semelhante, distinta, entretanto, das demais fácies.

Ressaltam-se os mais baixos teores de todas as concentrações no Verde Boreal Escuro e o comportamento diferenciado do material Damasco em relação aos demais da mesma fácies, assemelhando-se mais com as rochas da fácies Verde Tunas.

As rochas da fácies Verde Mar apresentam uma resposta gamaespectrométrica muito semelhante às rochas da fácies Verde Tunas, o que pode ser explicado pela grande semelhança geoquímica entre elas, bem como pela proximidade em que elas se encontram na mesma estrutura subvulcânica.

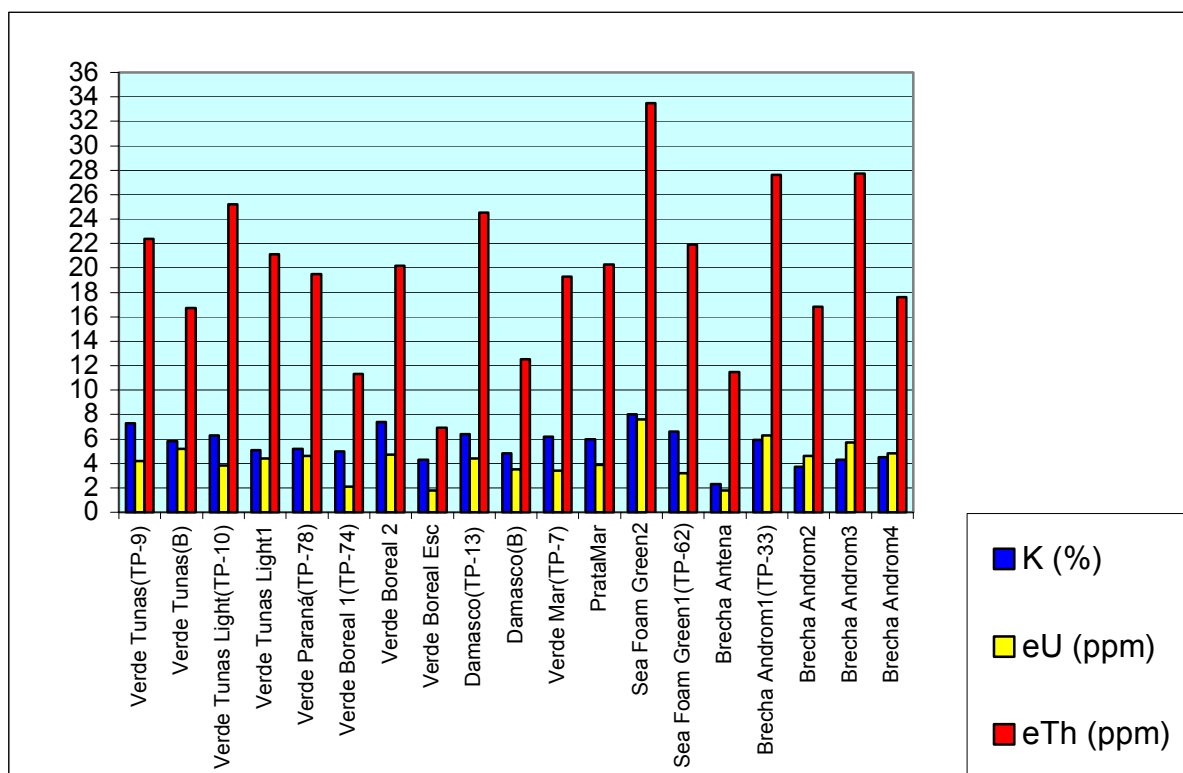


Figura 34 - Concentrações de urânio, tório e potássio nas rochas do Complexo Alcalino de Tunas/PR.

Correlacionando as concentrações de eU e eTh obtidas nas medições (Fig. 35), percebe-se que as rochas da fácies Verde Tunas alinham-se ao longo de um *trend* negativo, enquanto que as demais rochas estabelecem relações positivas, num *trend* que parece ser único. Ressaltam-se aqui os elevados valores de concentração de U e Th da variedade pegmatóide *Sea Foam Green*, evidenciando

seu caráter mais diferenciado, em relação às demais rochas do complexo. Isso se explica pelo fato de que as rochas formadas nos últimos estágios de diferenciação magmática, tendem a concentrar mais U e Th em sua estrutura do que aquelas formadas em estágios anteriores. As brechas também apresentam concentrações diferenciadas.

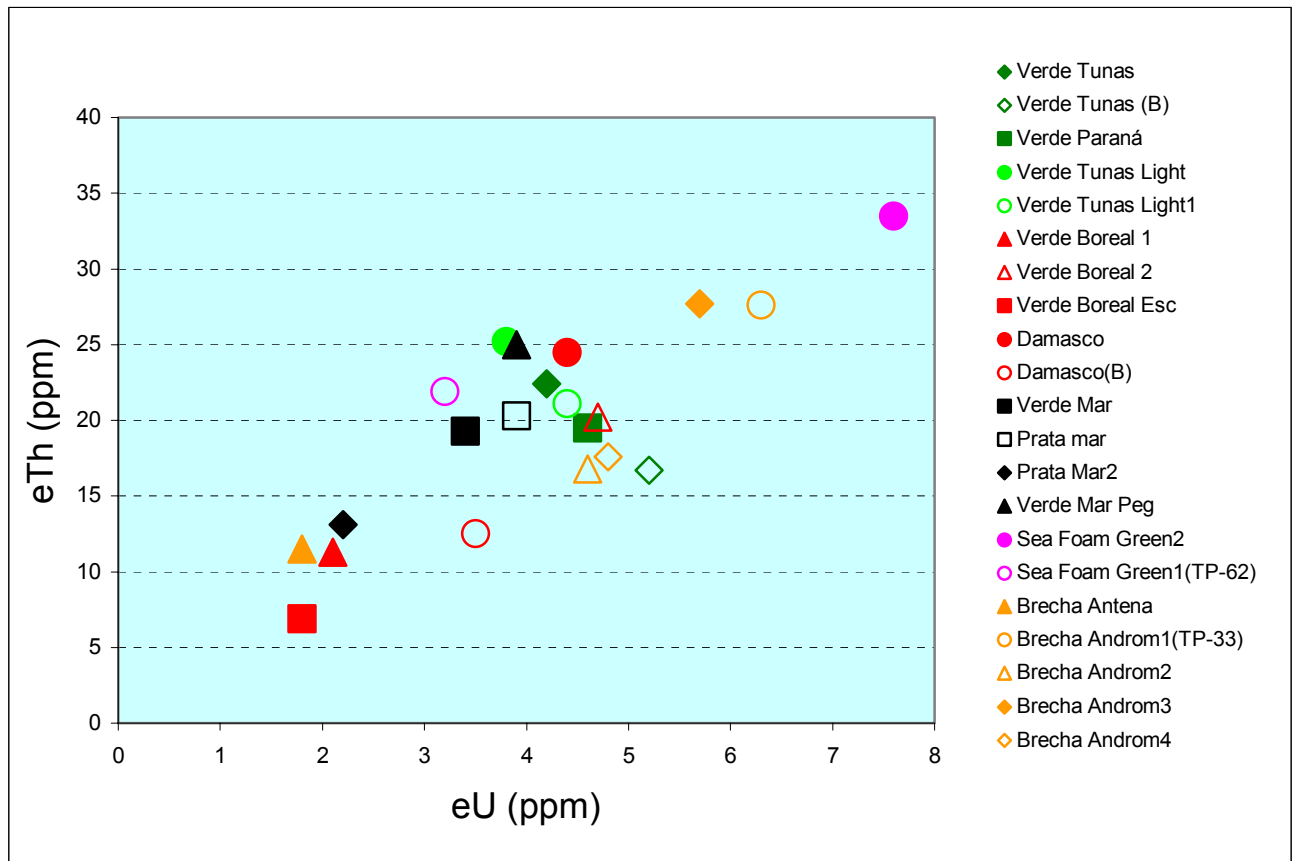


Figura 35 - Correlação entre as concentrações de urânio e tório medidas em afloramentos de diferentes rochas do Complexo Alcalino de Tunas/PR



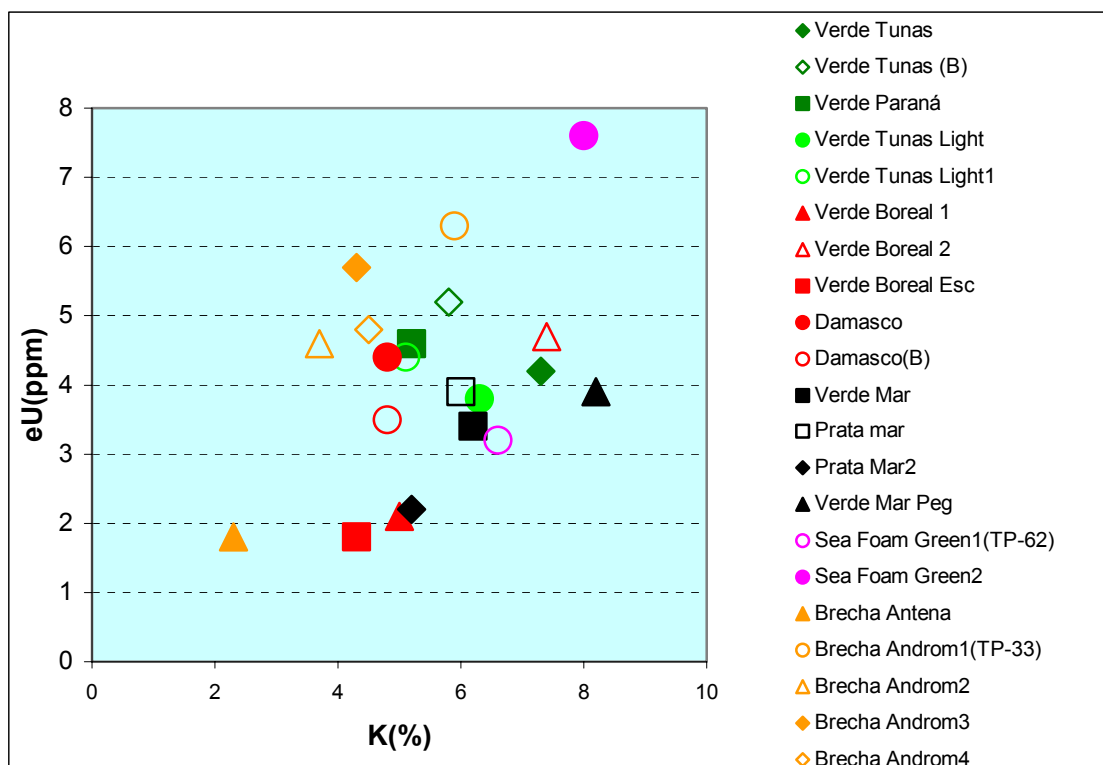


Figura 36 - Correlação entre as concentrações de urânio e potássio medidas em afloramentos de diferentes rochas do Complexo Alcalino de Tunas/PR

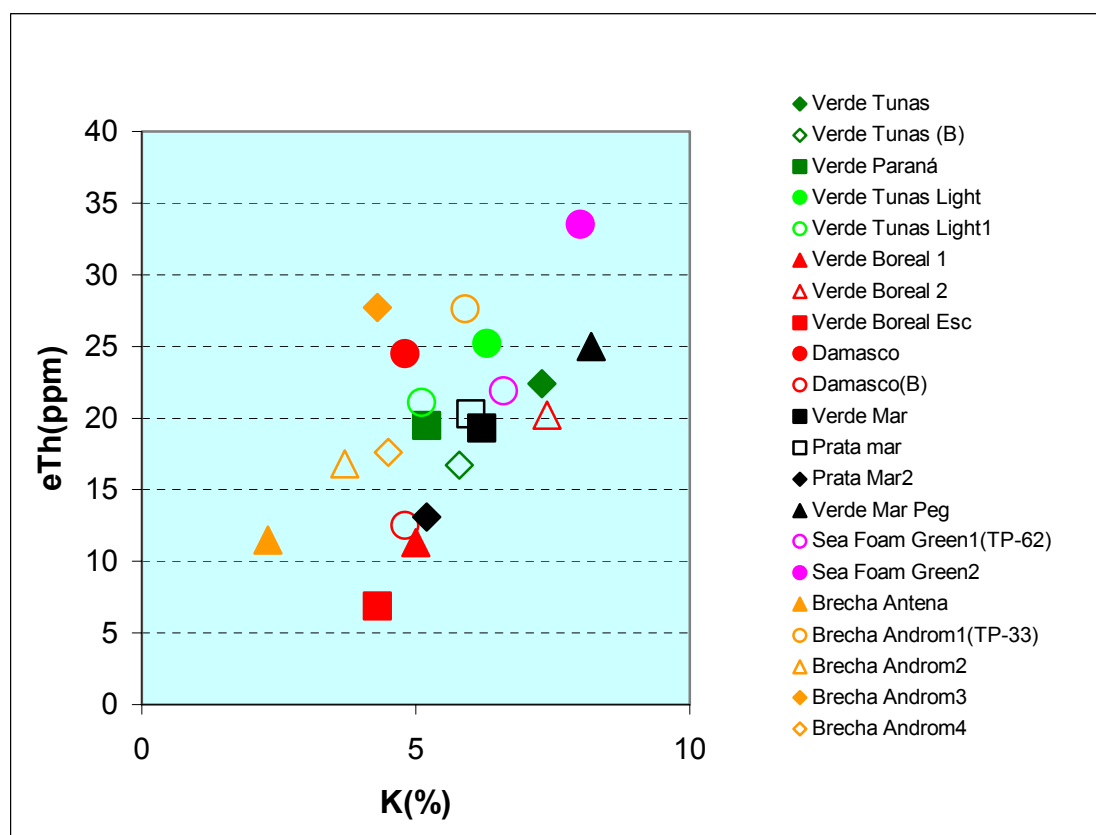


Figura 37 - Correlação entre as concentrações de tório e potássio medidas em afloramentos de diferentes rochas do Complexo Alcalino de Tunas/PR

## 12 – CONCLUSÃO

Apesar de já virem sendo lavrados há mais de 40 anos, os sienitos ornamentais do Complexo Alcalino de Tunas ainda hoje nos apresentam um enigma a ser decifrado, com relação à grande variabilidade da coloração e textura, na maioria das vezes, encontrada numa mesma frente de extração. A carência de conhecimentos sobre essa questão e a falta de investimentos neste sentido, faz com que as empresas que exploram o complexo, o façam de maneira empírica, sem um adequado planejamento que as garanta o fornecimento de um produto com características bem definidas, durante um determinado período. Dessa forma, vão surgindo, a cada nova frente de lavra aberta, diferentes denominações comerciais para materiais, cujas composições mineralógicas não diferem muito entre si, mas que se distinguem por características ornamentais (coloração e textura), nem sempre assimiladas pelo mercado, acostumado a padrões, tradicionalmente ditados por modismos.

No presente trabalho, a realização de um mapeamento direcionado a estudar essa variação dos sienitos ornamentais, resultou na identificação de quatro fácies petrográficas, informalmente designadas por nomes que reportam aos principais produtos comerciais ali explotados, de forma a permitir um mais fácil entendimento desta diferenciação, inclusive pelos próprios mineradores.

Essa divisão faciológica baseou-se inicialmente em aspectos de coloração e textura, além de características petrográficas, na definição dos agrupamentos de rochas, sendo depois incorporada uma análise geoquímica desses materiais, que permitiu o ajuste da distribuição das rochas, nas fácies definidas. Observou-se também a distribuição espacial em que essas variedades sieníticas ocorrem, ficando claro que os sienitos de coloração verde se distribuem, em sua maior parte, na periferia do complexo, próximos aos contatos com as encaixantes, enquanto que as variedades de cor cinza se localizam em estruturas mais centrais do corpo plutônico. Além disso, nas estruturas mais preservadas do complexo, constata-se que as variedades sieníticas de coloração verde ocorrem em cotas menores do que aquelas em que ocorrem as variedades de coloração cinza, havendo entre elas, regiões em que as rochas apresentam coloração intermediária, entre o verde e o cinza, cujas características permitem enquadrá-las em duas fácies.

Na divisão estabelecida, a fácies Verde Tunas é a que engloba a maior quantidade de variedades ornamentais, provavelmente em função do maior interesse que as mesmas despertam, bem como pela maior variabilidade dos padrões estéticos por ela apresentada. Entretanto, fica claro que as rochas de coloração verde escuro dessa fácies, ocorrem sempre na extremidade das estruturas semi-circulares, sob a forma de matacões, em sua maior parte, entre cotas que variam de 900 a 1010m. Portanto, os trabalhos de prospecção dessas variedades devem ser direcionados de forma a identificar essas localidades no complexo. Os afloramentos dessa fácies encontrados em cotas inferiores às citadas, relacionam-se à primeira estrutura vulcânica formada no complexo, contudo repetem o modelo das demais ocorrências. Observa-se ainda, localmente, na maioria dos afloramentos dessa fácies, variação lateral de cor, sendo que, nas porções mais internas das estruturas, as rochas apresentam coloração mais escura, e à medida que se desloca para as bordas, a cor da rocha torna-se mais clara.

As rochas agrupadas na fácies Verde Mar ocorrem em cotas superiores a 975 m, numa borda da quinta estrutura subvulcânica do complexo. Essas rochas também apresentam variação de cor e textura à medida que se atingem níveis superiores da estrutura, variando de um verde acinzentado a um cinza esbranquiçado. A principal variedade dessa fácies, o Verde Mar, é caracterizada por apresentar bolsões difusos de feldspatos centimétricos, que conferem ao material requintado aspecto ornamental, sendo muito valorizado comercialmente.

A fácies Boreal agrega sienitos e um mozonito, que ocorrem em cotas superiores a 1000m, apresentando variação de coloração com a altitude, variando do verde claro ao cinza rosado.

A fácies pegmatóide ocorre sempre próxima a corpos de brecha, sendo constituídos por cristais centimétricos de feldspato, possuindo cavidades miarolíticas, que contém cristais bem formados de quartzo, berilo e anfibólios. Devido a existência dessas cavidades, seu aproveitamento como rocha ornamental está condicionado a tratamento de resinagem das chapas.

As brechas também apresentam condições de aproveitamento como rocha ornamental, sendo que as variedades mais promissoras, encontram-se na localidade denominada Lajeado, na porção noroeste do complexo, tendo uma delas recebido a denominação comercial de Andrômeda.

As análises geoquímicas dos elementos maiores das rochas do complexo não apontam para uma satisfatória diferenciação entre as fácies, entretanto a correlação entre as porcentagens de álcalis total e sílica dos sienitos, define “trends” que indicam uma distinção entre as rochas das diferentes fácies, neste trabalho definidas.

Os testes de caracterização tecnológica realizados para as rochas do complexo, atestam as qualidades físico-mecânicas das variedades ornamentais Verde Tunas e Verde Boreal, habilitando-as a serem utilizadas tanto como revestimentos horizontais quanto verticais. Já o sienito Prata Mar, apesar de apresentar resultados satisfatórios quanto à resistência a diversos esforços, apresenta microfraturas que podem vir a prejudicar seu desempenho como rocha de revestimento, principalmente quando sujeito a agentes químicos agressivos. Devido a sua heterogeneidade, a utilização da brecha como rocha ornamental deve se restringir a determinadas finalidades, principalmente àquelas que não exijam grandes esforços mecânicos, devendo por isso ser utilizada sob a forma de peças de maior espessura.

As medições gamaespectrométricas realizadas nas rochas do complexo e os cálculos do índice de concentração de atividade gama, evidenciam que a radioatividade emitida por essas rochas não supera a dose efetiva limite de 1mSv/ano, além do fato de que os seus teores de tório são mais altos que os de urânio, permitindo-se afirmar que as rochas de Tunas não apresentam grandes riscos de contaminação por radônio em ambientes fechados, atestando assim suas condições para uso como material de revestimento.

Apesar de todo conhecimento adquirido a respeito do Complexo Alcalino de Tunas, muito ainda está por ser descoberto. Cabe, portanto, às empresas que exploram os sienitos desse corpo alcalino, investirem em pesquisa mineral e na avaliação de suas reservas, agregando informações quantitativas, qualitativas e tecnológicas dos materiais ali explotados, de forma a se poder projetar um aproveitamento racional das jazidas das rochas ornamentais ali encontradas.

### **13 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**ABIROCHAS (2001) Associação Brasileira de Indústrias de Rochas Ornamentais. <http://www.abirochas.com.br>. Acesso em 25/01/2004.**

**ALGARTE, J. P. (1972) A influência dos arqueamentos cratônicos no condicionamento das alcalinas dos Estados de São Paulo e Paraná. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 26, Belém, 1972. Anais..Belém ,SBG, v.1 p.65-69.**

**ALMEIDA, F.F.M. de (1967 ) Origem e evolução da plataforma brasileira. Bol. Div. Geol. Min., Rio de Janeiro, (241):36p.**

**ALMEIDA, F.F.M. de (1983) Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da Plataforma Sul-Americana.Rev. Bras. Geoc. v.13, nº3, p.139 –158.**

**ALTHOFF, F.J.; FIORI, A.P.(1991) Estruturas macro, meso e microcópicas da porção ocidental da Antiforma do Setuva-PR. Boletim Parananese de Geociências. Curitiba,PR: v.39, p.51-64.**

**ALTHOFF, F.J.; FIORI, A.P.(1992) Sobre a petrografia e o metamorfismo das rochas da Antiforma do Setuva – PR. Boletim Parananese de Geociências. Curitiba,PR:UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, v.40, p.1-20.**

**ANJOS, R.M.; VEIGA, R.; SOARES,T.; SANTOS, A.M.A.; AGUIAR, J.G.; FRACÁ, M.H.B.A.; BRAGE, J.A.P., UZÊDA, D.; MANGIA, A.; FACURE, A.; MOSQUERA, B.; CARVALHO, C.; GOMES, P.R.S.(2004) Natural radionuclide distribution in brasilian commercial granites. Radiation Measurements (No prelo).**

**ARRAIS, J.C.de P. (2001) Estudo do Granito Preto Piracaia-SP, para utilização como rocha ornamental. Rio Claro/SP. Dissertação (Mestrado). UNESP**



**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT.- (NBR 12763). Rochas para revestimento – determinação da resistência a flexão. 1992. 3p.**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT.- ( NBR 12764). Rochas para revestimento – Determinação da resistência ao impacto de corpo duro. 1992. 2p.**

\_\_\_\_\_ (NBR 12765). Rochas para revestimento – Determinação do coeficiente de dilatação térmica linear . 1992. 2p.

\_\_\_\_\_ (NBR 12766). Rochas para revestimento – Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente. 1992 . 2p.

\_\_\_\_\_ (NBR 12768). Rochas para revestimento – Análise petrográfica. 1992 . 2p

**BARRETO, P.M.C.; AUSTERLITZ, C.; MALHEIROS, T.; LOUBORE, L. (1986) Radioative Concret Sources at IRD/CNEN, Brazil, for the calibration and environmental field instruments. Relatório IRD/DEX-3/CNEN (inédito).**

**BIGARELLA, J.J.; SALAMUNI, R. (1956) Estudos preliminares na Série Açungui. V – Estruturas organógenas no dolomitos da Formação Capiru(Estado do Paraná). *Dulsenia*, Curitiba, v.8, n.6, p.317-323.**

**BIGARELLA, J.J.; SALAMUNI, R. (1958) Estudos preliminares na Série Açungui. VIII – A formação Votuverava. Bol Inst Hist. Nat., Curitiba,n.2, p.1-16.**

**CHELLAPA, J.D. (2003) Nuclear Radiation. IGCA, Chennai. <http://www.hindu.com/tehindu/seta/2003/04/10/stories/2003041000120300.htm>. Acesso em 15/06/2004**

**CORDANI, U.G. & HASSUI, Y. (1968) Idades K-Ar de rochas alcalinas do Primeiro Planalto do Estado do Paraná. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 22., Belo Horizonte, 1968. Anais... Belo Horizonte: SBG,.p. 149-153**

**DI GIORGIO, D. (2003) Fatores Geológicos no Planejamento de Lavra de Rochas ornamentais. Porto Alegre. 148 f. Dissertação(mestrado) . UFRGS.**

**E.C. (1999) European Commission Report on Radiological Protection. Principles concerning the natural radioativity of building materials. Radiation Protection, Vol.112, 16p.**

**FASSBINDER, E., SADOWSKI, G.R., FIORI, A.P.(1994) Modelo Riedel aplicado no Lineamento Lancinha no Estado do Paraná. Boletim Paranaense de Geociências. Curitiba,PR: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ,v.42,p.173 – 184.**

**FASSBINDER, E.(1996) A unidade Água Clara no contexto do Grupo Açungui: um modelo transpressivo de colisão oblíqua no neoproterozóico paranaense. São Paulo, 207 f. Tese (Doutorado). IG/USP.**

**FIORI, A P.(1985) Avaliação preliminar do deslocamento dúctil das falhas de Lancinha e Morro Agudo no Estado do Paraná. Boletim Paranaense de Geociências. Curitiba/PR: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ., nº 36,p.15-29.**

**FIORI, A.P. (1992) Tectônica e Estratigrafia do Grupo Açungui-PR. Boletim do Instituto de Geociências/USP.São Paulo,SP:USP,v.23,p.55 –74.**

**FIORI, A.P. (1993) O sistema de cavalgamento Acungui. Geociências. Rio Claro, SP: UNESP, v. 12, p.187-208.**

**FIORI, A.P.(1993) O sistema de dobramento apiaí –PR. Revista Brasileira de Geociências. São Paulo,SP: SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOLOGIA, v.23, n.01, p.5 -17.**

**FIORI, A.P. (1994) Evolução geológica da bacia do Açungui. Boletim Paranaense de Geociências. Curitiba, PR: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, v.42, p.7 –27.**

**FIORI, A.P., FASSBINDER, E., RABELO, L.(1998) Geologia da região de Tunas-PR. Boletim Paranaense de Geociências. Curitiba,PR: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, v.46, p.141 –150.**

**FIORI, A.P., GASPAR, L.A. (1993) Considerações sobre a estratigrafia do Grupo Açungui(Proterozóico Superior), Paraná, Sul do Brasil. Boletim do Instituto de geociências/USP.São Paulo-SP: v.24, p.1 – 19.**

**FERREIRA, F.J.F, SOUZA, J.L. (2000) Gamaespectrometria. Fundamentos, Geoquímica e distribuição dos Radioelementos em Rochas e Solo. Apostila do curso de Geologia. UFPR, Curitiba/PR.**

**FERREIRA, A.C M. (2004) Radioatividade Ambiental e Efeitos na Saúde. Revista Brasileira de Cancerologia. Rio de Janeiro. v.50(2) .p.139-175.**

**FRAZÃO, E.B.(2000) Tecnologia de rochas na construção civil. ABGE. São Paulo. 132p.**

**FRAZÃO, E.B.; FARJALLAT, J.E.S.(1995a) Proposta de especificação para rochas silicáticas de revestimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 8, Rio de Janeiro. Anais...São Paulo: ABGE.v.1,p.369-380.**

**FRAZÃO, E.B.; FARJALLAT, J.E.S.(1995b) Seleção de pedras para revestimentos e prioridades requeridas. Rochas de Qualidade. São Paulo, EMC – Editores Associados Ltda, n.124, p.80-94..**

**FRAZÃO, E.B.; FARJALLAT, J.E.S.(1996) Especificações tecnológicas para pedras silicatadas de revestimento. In: ENCONTRO DO CENTRO-OESTE SOBRE GRANITOS, MÁRMORES E PEDRAS ORNAMENTAIS, 2, 1996, Goiânia. Atas...Goiânia: SBG/Núcleo Centro-Oeste**

**FRITZONS JUNIOR, O.; PIERKARZ, G.F.; FALCADE, D.(1982) Geologia e potencial econômico do Grupo Setuva(PR). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32., Salvador, Anais...Salvador:SBG,v.3,p.987-1001.**

**FUCK, R. A.(1972) Geologia do Maciço Alcalino de Tunas, Paraná, Brasil. São Paulo:USP,1972., 82 p. Tese ( Doutorado), IG/USP.**

**FUCK, R. A.; MARINI, O.J., TREIN, E.; MURATORI, A.(1971) Geologia do leste paranaense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA,25.,São Paulo, Anais... São Paulo: SBG. v.1,p.121-130;**

**GODDARD, E. et al. (1984) Rock Color Chart. Boulder: Geological Society of America.**

**GOMES, C.B.; BARBIERI, M.; BECCALUCA, L.; BROTZU, P.; CONTE, A.; RUBERT, E.; SHEIBE,F.; TAMURA,R.M.; TRAVERSA,G.(1987) Petrological and geochemical studies of alkaline rocks from continental Brazil. 2. The Tunas massif, State of Paraná. Geochem. Brazil. v. 1: p. 201-234.**

**GRASTY, R.L. (1979) Gamma ray spectometric methods in uranium exploration – Theory and operational procedures. Geophysics and Geochemistry in the searche for Metallic Ores. Geological survey of Canada, Economic Geologic Report, v.31, p.147-161.**

**HARA, S.F. & SILVA, M.E. (1982) Relatório de Graduação da Folha Geológica de Água Clara/parcial leste de Barro Vermelho. Relatório (graduação em Geologia) – Departamento de Geologia.Universidade Federal do Paraná, 80 p. (inédito).**

**HASSUI, Y.(1986) Novo modelo geológico do Vale do Ribeira. São Paulo:IPT(Relatório 23.742)**

**HOUPT, R.(1979) Le comportement à la rupture des roches. In: CONGRESS INTERNATIONALE DE MÉCANIQUE DE ROCHES, 4, 1974, Montreux. Comptes Rendus,v.3,p.115-122.**

**MARINI, O J.;TREIN, E.; FUCK, R.A.(1967) O Grupo Açungui no Estado do Paraná. Boletim Paranaenses de Geociências, Curitiba, n23/25,p.43-104.**

**MINEROPAR (2001) Minerais do Paraná S.A. Atlas Geológico do Estado do Paraná. Versão PDF (CD – Rom).**

**NAGALI, J. T.( 1991) Perfil do setor de granitos e mármore do Estado do Paraná. Curitiba: Mineropar,. 32 p.**

**SHOBBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A ;DERZE, G.R. & ASMUS, H.E.(1984) Geologia do Brasil. DNPM, 501 p.**

**SILVA, D.C. (1980) Complexo Alcalino de Tunas – Setor de Rochas Alcalinas. MINEROPAR. Curitiba. 11 p.**

**SILVA, D.C.; FELIPE, R.S. & PONTES, J.B. (1981 )Notas sobre as ocorrências de fluorita do Vale do Ribeira (PR). In: Simp. Reg. Geol.,3. Curitiba, 1981. Atas...São Paulo,SBG. v.1, p.21-35.**

**SILVA, L. M. C., SANTOS, M. D., ALENCAR, B. V., GOUVEA, V. A., BINNS, D. A. C., FERREIRA, L. S., SANTOS, I. V. D. (1997) Dosimetria alfa-gama de rochas usadas como revestimento na construção civil. In: 5º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, 1997, São Paulo.Anais, v.1. p.410 - 412**

**SOARES, R.M.C. (1984) Tratamento de dados químicos e petrográficos de rochas alcalinas do Brasil Meridional. Tese ( de Doutorado). IG/USP, 316p.**

**TREIN, E.;MARINI, O. J. e FUCK, R.A. (1967) Rochas alcalinas do Primeiro Planalto do Estado do Paraná. In: BIGARELLA, J. J.; SALAMUNI,R. & PINTO,V.M. – 1967 –Geologia do Pré-Devoniano e intrusivas subseqüentes da porção oriental do Estado do Paraná. Bol. Paran. de Geoc. V.23-25, p.325-347.**

**TZORTZIS, M.;TSERTOS, H.;CHRISTOFIDES, S.CHRISTODOULIDES, G.(2003). Gamma radiation measurements and dose rates in commercially-used natural tiling rocks (granites). J. Enviroment Radioactivity 70,223 – 235.**

**ULBRICH, H.S. R.& GOMES, C.B. (1981) Alkaline rocks from continental Brazil. Earth Science. Rev. V.17, p.145-154.**

**ULBRICH, H.S. R.; VLACH, S.R.F. & JANASI, V. (2001) O mapeamento faciológico em rochas ígneas putônicas. Revista Brasileira de Geologia,v.32,p.163-172.**

**UNSCEAR (2000). Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic radiation, United Nations, New York.**

**VASCONCELLOS, E.M.G.(1991) Investigações Geológicas e Petrográficas das Brechas Vulcânicas do maciço Alcalino de Tunas, PR. São Paulo. 128 p. (Dissertação de Mestrado,IG/USP).**

**VASCONCELLOS, E.M.G.(1992) Caracterização Petrográfica de Brechas Vulcânicas no Complexo Alcalino de Tunas,PR. Rev. Brs. Geoc., v. 22(3):p. 269-274.**

**VASCONCELLOS, E.M.G. & GOMES, C.B.(1992) Quimismo de feldspatos e piroxênios da matriz das brechas vulcânicas do Complexo Alcalino de**



**Tunas/PR e proposta de interpretação para alojamento desses corpos. Bol. Paran. Geoc. V. 40 p.43-68.**

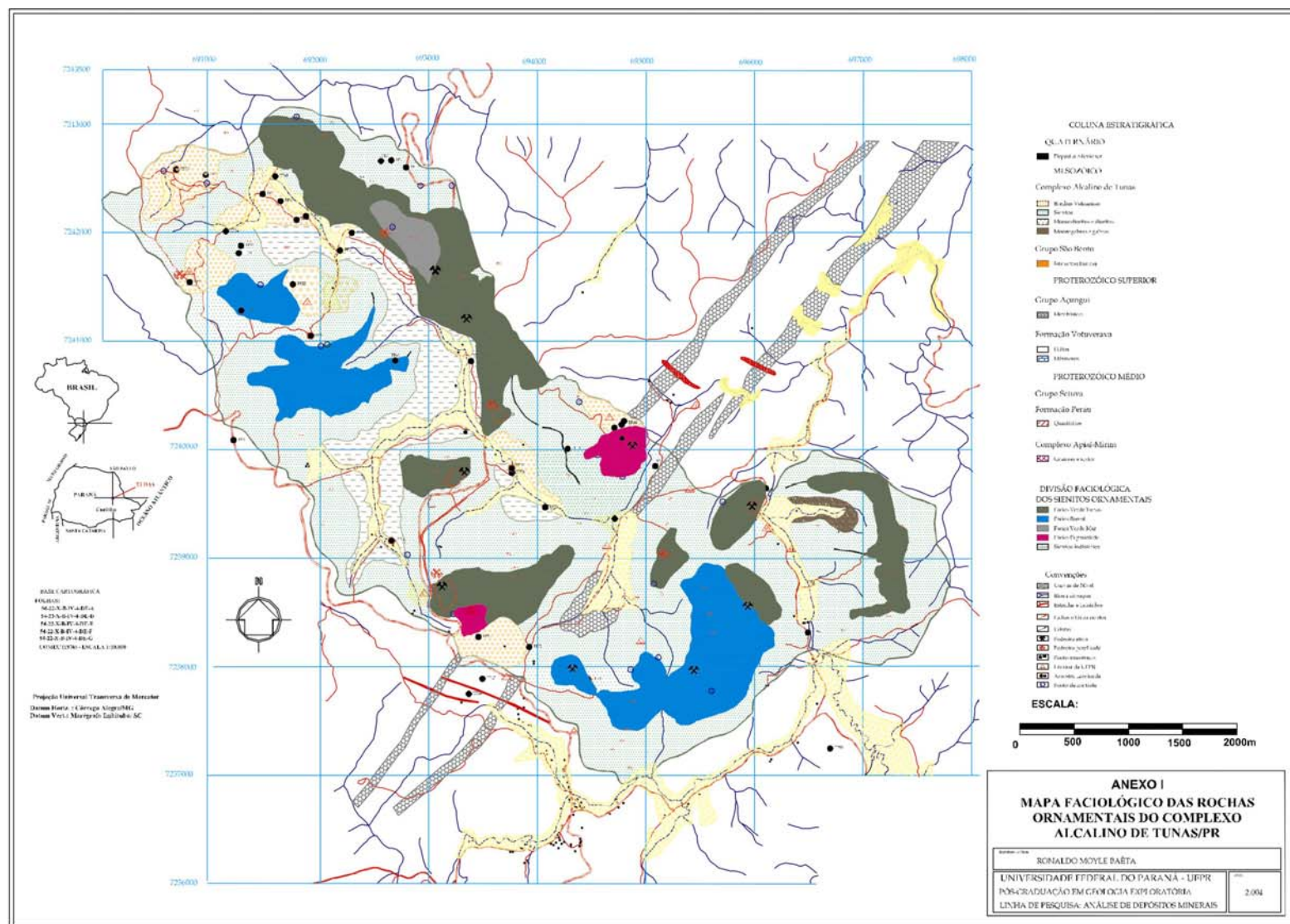
**VASCONCELLOS, E.M.G. & GOMES, C.B. (1995) Petrologia e geoquímica de diques e plugs"alcalinos na região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo. Tese (de Doutorado) IG/USP.**

**VENUSSO, G.C.(2001) Aspectos Geológicos, Geoquímicos e Genéticos das Mineralizações de Calcita e Rochas Encaixantes da Serra do Carumbé, Vale do Ribeira, Estado Do Paraná. 115 F. Dissertação(Mestrado) UFPR.**

WILSON, M. (1989) Igneous Petrogenesis . UNWIN HYMAN. London. 465 p.

**[www. paranagranitos.com.br](http://www.paranagranitos.com.br) Acesso em 03/07/2004**

## ANEXO I



## ANEXO II

## Resultados das análises de difratometria para as rochas ornamentais de Tunas

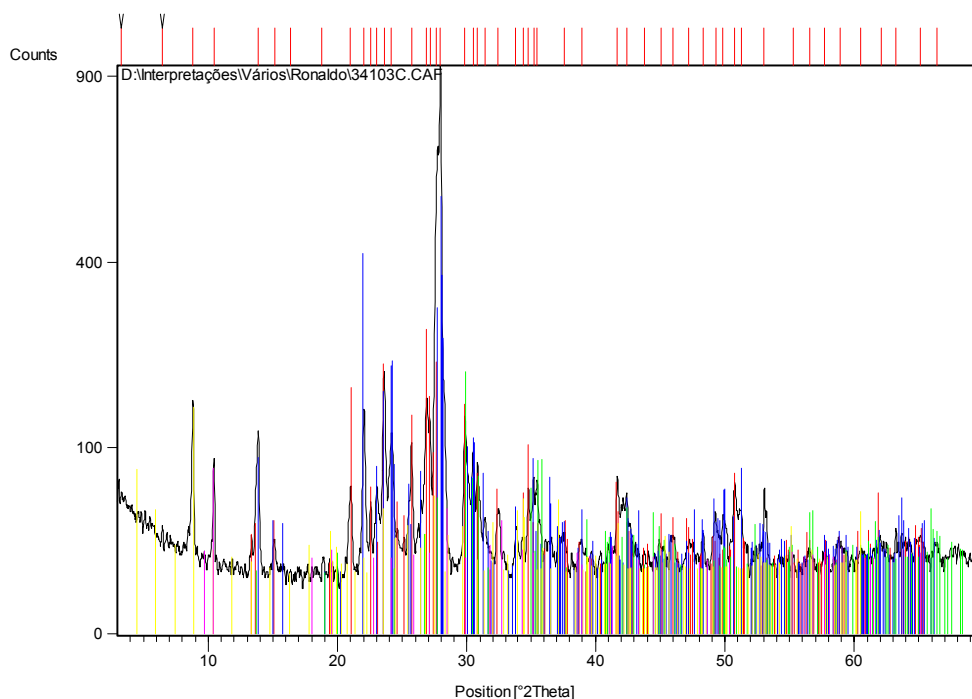
### FÁCIES VERDE TUNAS

Amostra TP-9 : VERDE TUNAS

Minerais Prováveis

Referência	Mineral	Fórmula
01-076-0823	Ortoclásio	( K <sub>0.94</sub> Na <sub>0.06</sub> ) ( Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )
01-089-6428	Albita	Na ( Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )
01-088-2376	Augita	Mg. <sub>927</sub> Ca. <sub>818</sub> Al. <sub>078</sub> Fe. <sub>069</sub> Na. <sub>06</sub> Cr. <sub>04</sub> Ti. <sub>008</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>
01-073-1661	Biotita	K Mg <sub>3</sub> Al Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> O H F
00-019-1061	Riebeckita	( Na , Ca ) <sub>2</sub> ( Fe , Mn ) <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> ( Si , Al ) <sub>8</sub> O <sub>22</sub> ( O H , F ) <sub>2</sub>

Difratograma de raios X

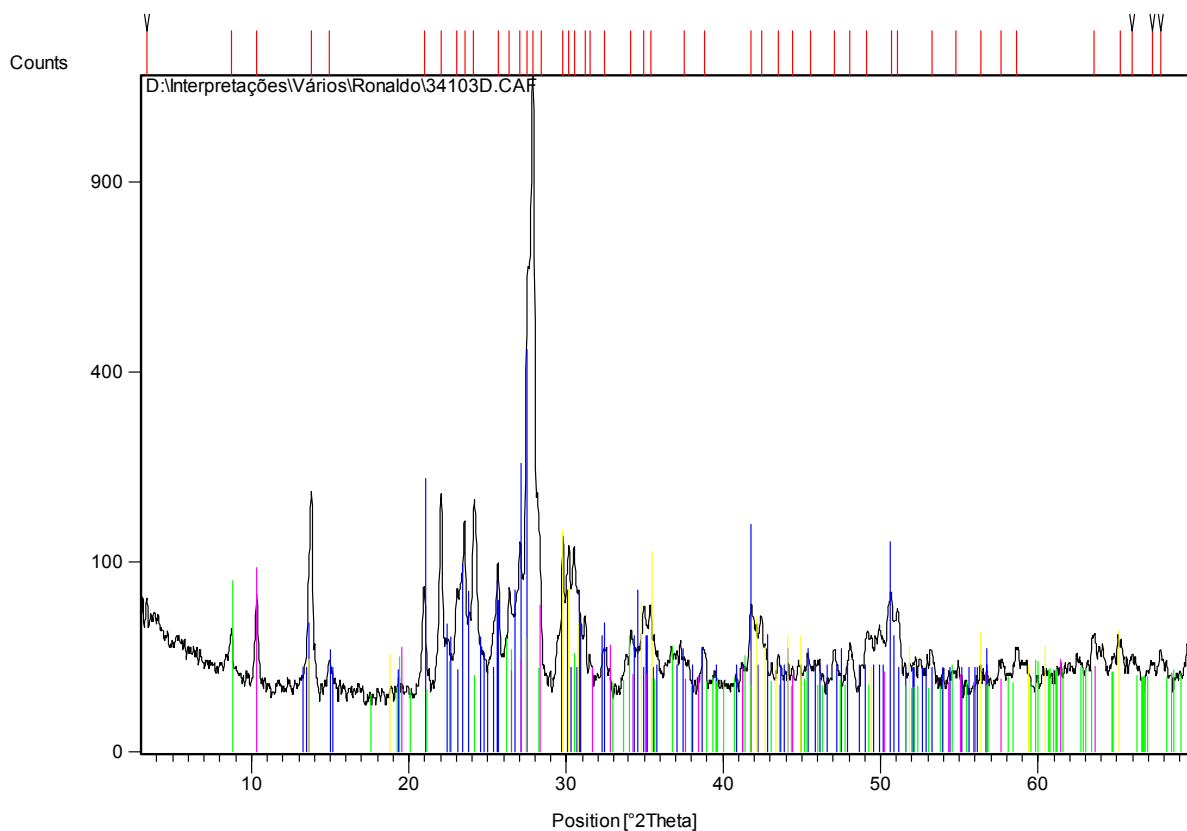


## Amostra TP-10: VERDE TUNAS LIGHT

### Minerais Prováveis

Referência	Mineral	Fórmula
00-009-0466	Albita	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$
00-019-0932	Microclínio	$\text{K Al Si}_3 \text{O}_8$
01-080-1108	Biotita	$\text{K Fe Mg}_2 (\text{Al Si}_3 \text{O}_{10}) (\text{OH})_2$
00-009-0436	Riebeckita	$\text{Na}_2 \text{Fe}_3 \text{Fe}_2 \text{Si}_8 \text{O}_{22} (\text{OH})_2$
00-024-0201	Augita	$\text{Ca} (\text{Fe}, \text{Mg}) \text{Si}_2 \text{O}_6$

### Difratograma de raios X



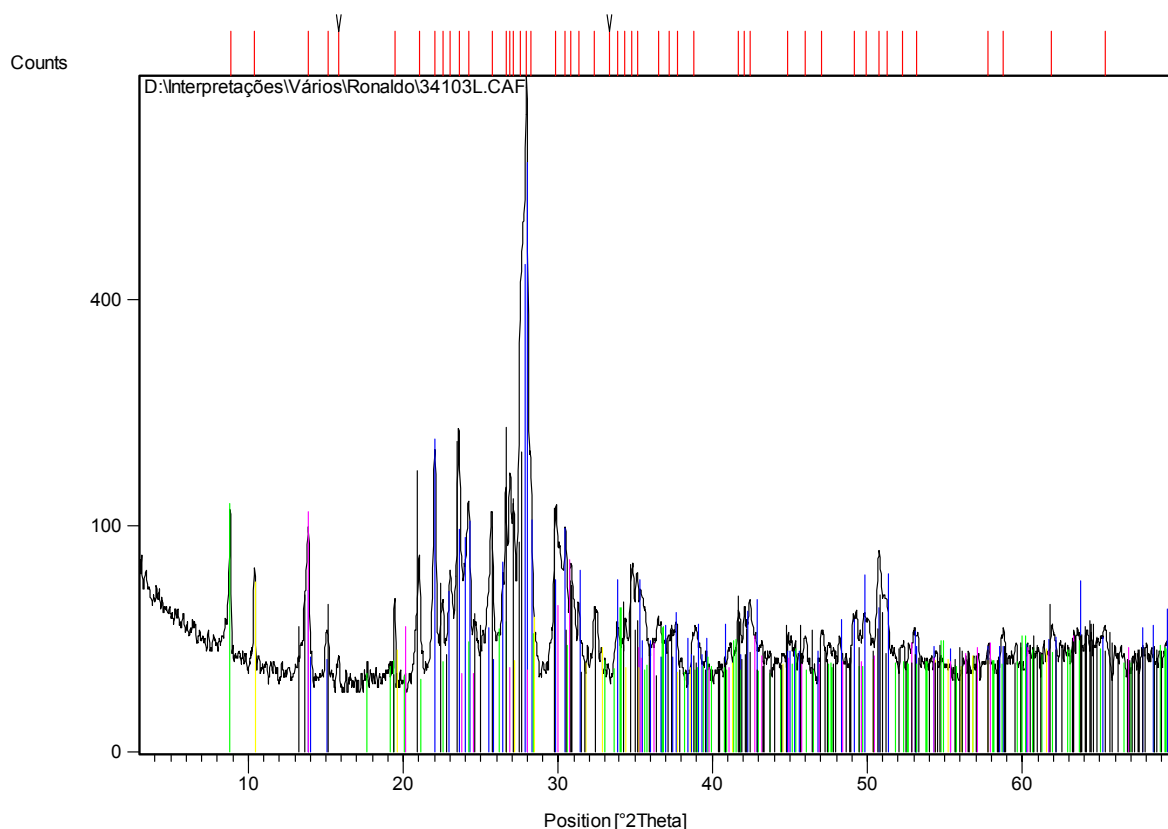


## Amostra TP-17: VERDE TUNAS BAU

### Minerais Prováveis

Referência	Mineral	Fórmula
00-041-1480	Albita	$(\text{Na}, \text{Ca}) \text{Al}(\text{Si}, \text{Al})_3 \text{O}_8$
01-088-1905	Biotita	$\text{K}(\text{Mg}_{1.48} \text{Fe}_{1.28} \text{Ti}_{.24})(\text{Al}_{1.2} \text{Si}_{2.8} \text{O}_{10})(\text{OH})_{1.4} \text{F}_{.32} \text{O}_{.28}$
00-031-1309	Egirine-augita	$(\text{Na}, \text{Ca}) \text{Fe}^{+3} \text{Si}_2 \text{O}_6$
00-009-0436	Riebeckita	$\text{Na}_2 \text{Fe}_3 \text{Fe}_2 \text{Si}_8 \text{O}_{22}(\text{OH})_2$
01-086-0683	Sanidina	$(\text{K}_{0.831} \text{Na}_{0.169})(\text{AlSi}_3 \text{O}_8)$

### Difratograma de raios X

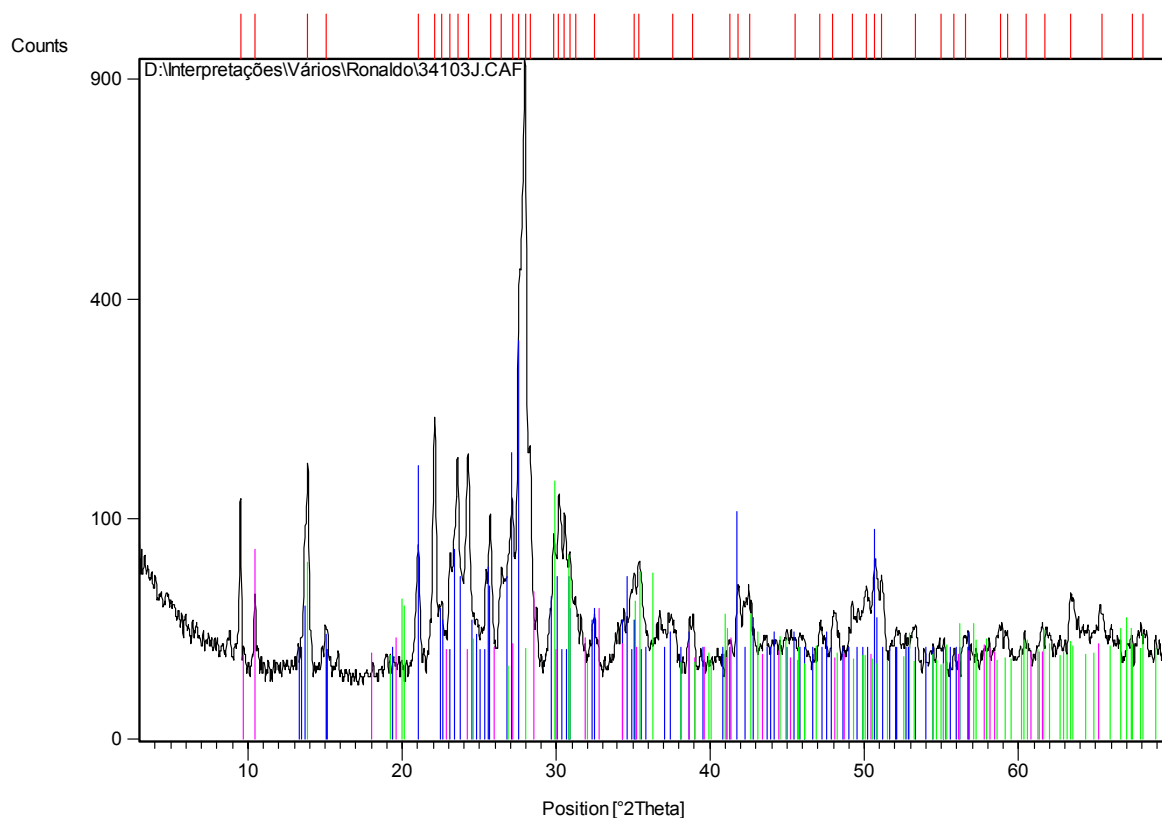


Amostra TP-78: Verde Paraná

Minerais Prováveis

Referência	Mineral	Fórmula
00-009-0466	Albita	Na Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
00-019-0932	Microclínio	K Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
00-019-1061	Riebeckita	( Na , Ca ) <sub>2</sub> ( Fe , Mn ) <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> ( Si , Al ) <sub>8</sub> O <sub>22</sub> ( O H , F ) <sub>2</sub>
01-071-1066	Egirina	Na Fe ( Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> )

Difratograma de raios X

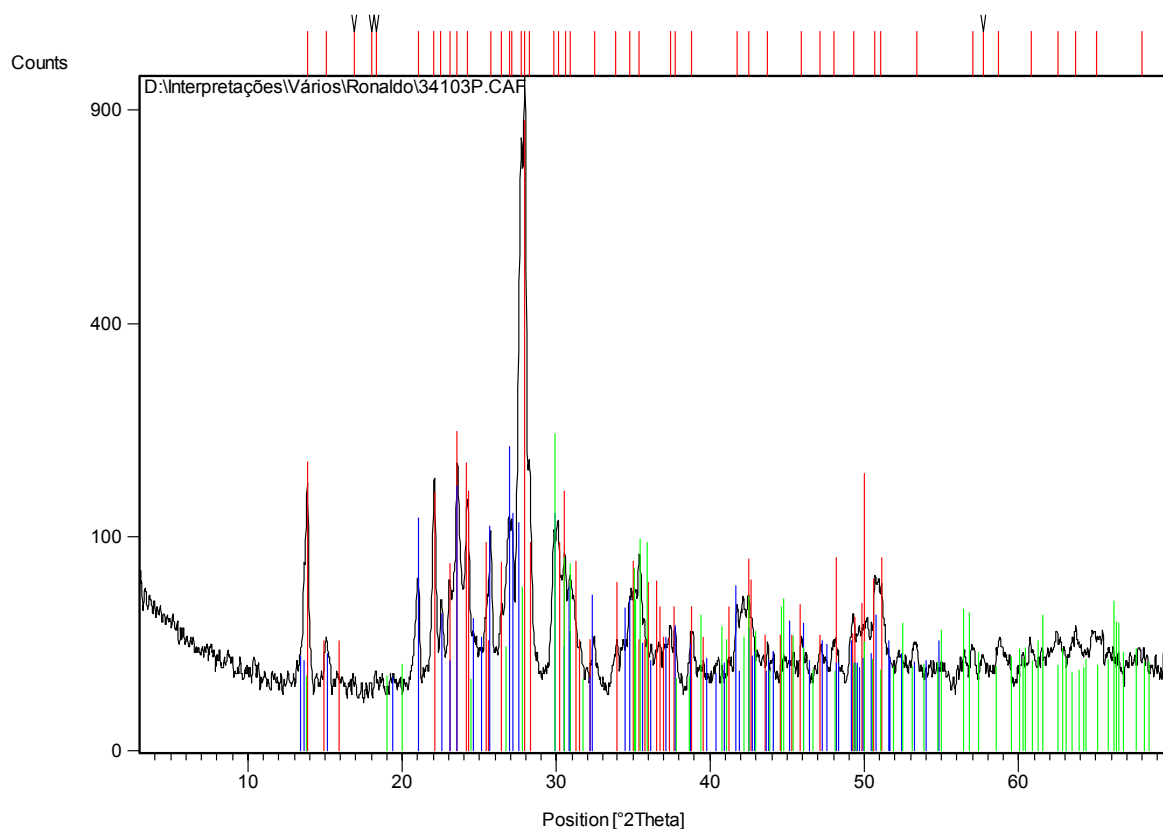


## Amostra TP-37: VERDE FLORESTA

### Minerais Prováveis

Referência	Mineral	Fórmula
00-009-0466	Albita	Na Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
00-022-1212	Ortoclásio	K Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
01-071-0721	Augita	( Ca.818 Mg.792 Fe.183 Fe.086 Al.151 Al.269 Si1.751 ) O <sub>6</sub>

### Difratograma de raios X

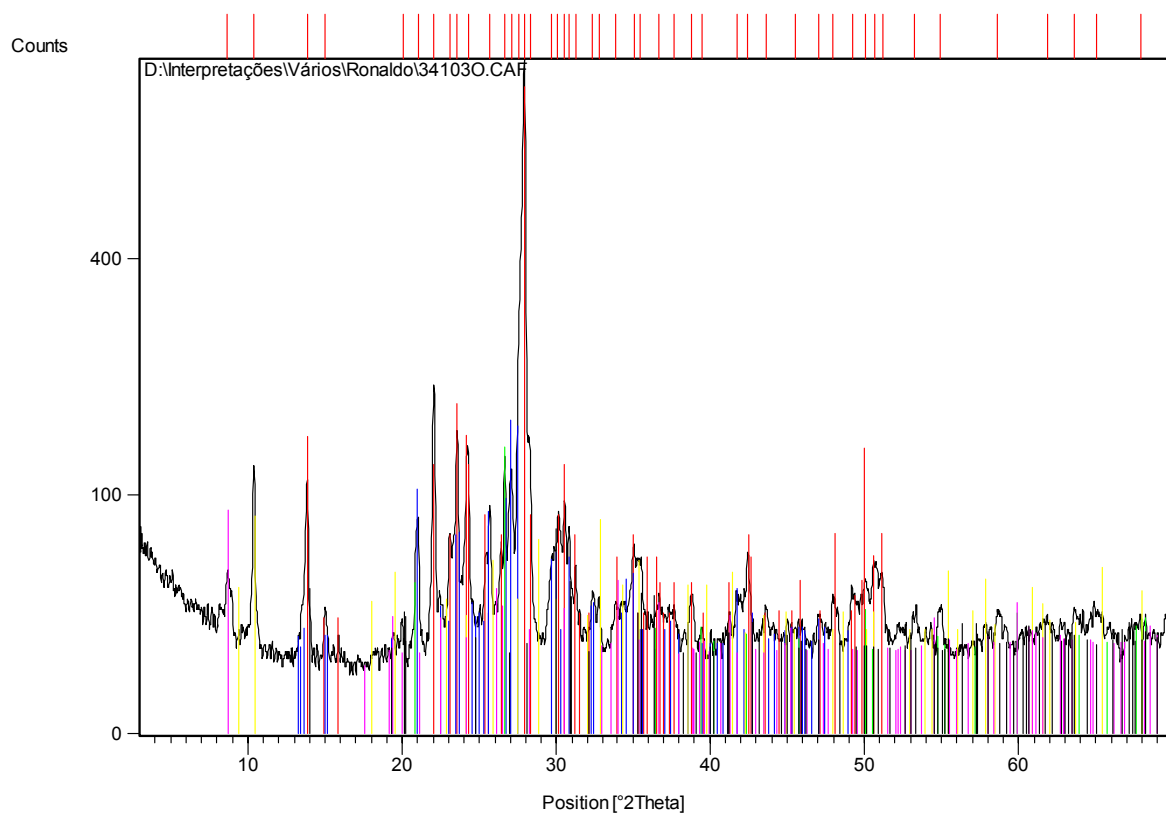


## Amostra TP-39 : JADE CRISTAL

### Minerais Prováveis

Referência	Mineral	Fórmula
00-009-0466	Albita	Na Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
00-022-0675	Microclínio	K Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
01-083-0539	Quartzo	Si O <sub>2</sub>
00-014-0230	Riebeckita	Na <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> Fe <sub>2.5</sub> Mg <sub>0.5</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> ( O H ) <sub>2</sub>
01-080-1107	Biotita	K Fe Mg <sub>2</sub> ( Al Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ) ( O H ) <sub>2</sub>
01-071-1066	Egirina	Na Fe ( Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> )

### Difratograma de raios X

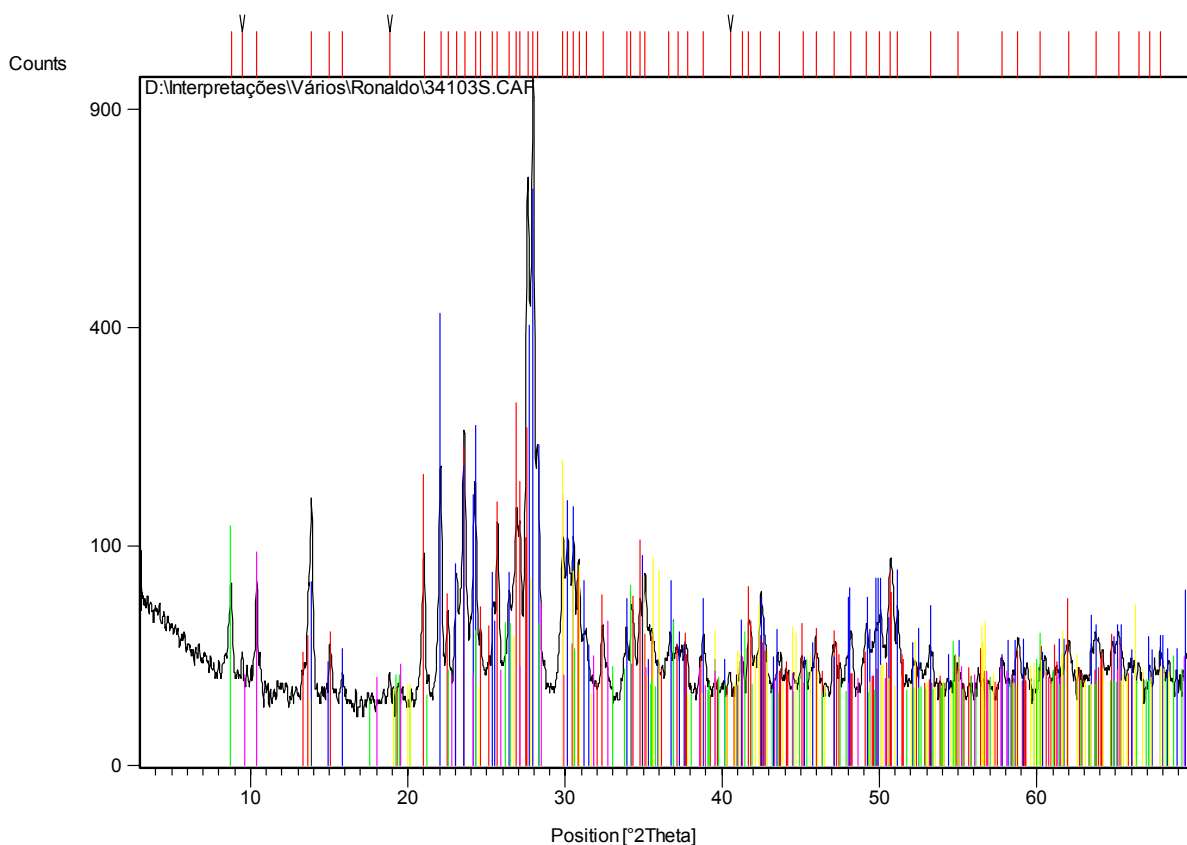


Amostra TP-48: VERDE TUNAS (PAREDÃO)

Minerais Prováveis

Referência	Mineral	Fórmula
01-076-0824	Ortoclásio	( K.931 Na0.055 Ca.009 Ba.005 ) ( Al0.97 Si3.03 O8 )
00-020-0554	Albita	Na Al Si3 O8
01-088-1899	Biotita	K ( Mg2.4 Fe.46 Ti.14 ) ( Al1.14 Si2.86 O10 ) ( O H )1.66 F.2 O.14
01-076-0544	Augita	Ca0.61 Mg0.76 Fe0.49 ( Si O3 )2
00-019-1061	Riebeckita	( Na , Ca )2 ( Fe , Mn )3 Fe2 ( Si , Al )8 O22 ( O H , F )2

Difratograma de raios X

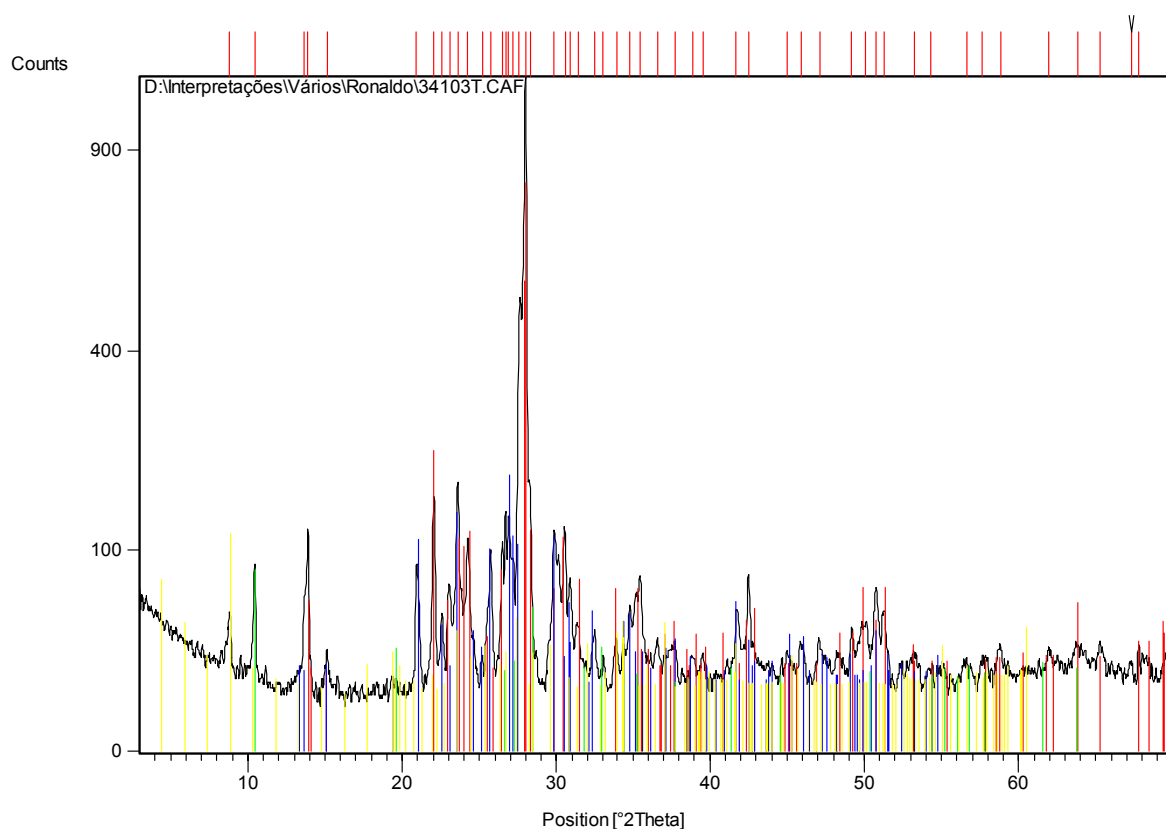


Amostra TP – 84: Jararaca 1

Minerais Prováveis

Referência	Mineral	Fórmula
00-041-1480	Albita	( Na , Ca ) Al ( Si , Al ) <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
00-022-1212	Ortoclásio	K Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
00-009-0436	Riebeckita	Na <sub>2</sub> Fe <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> ( O H ) <sub>2</sub>
01-073-1661	Biotita	K Mg <sub>3</sub> Al Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> O H F

Difratograma de raios X



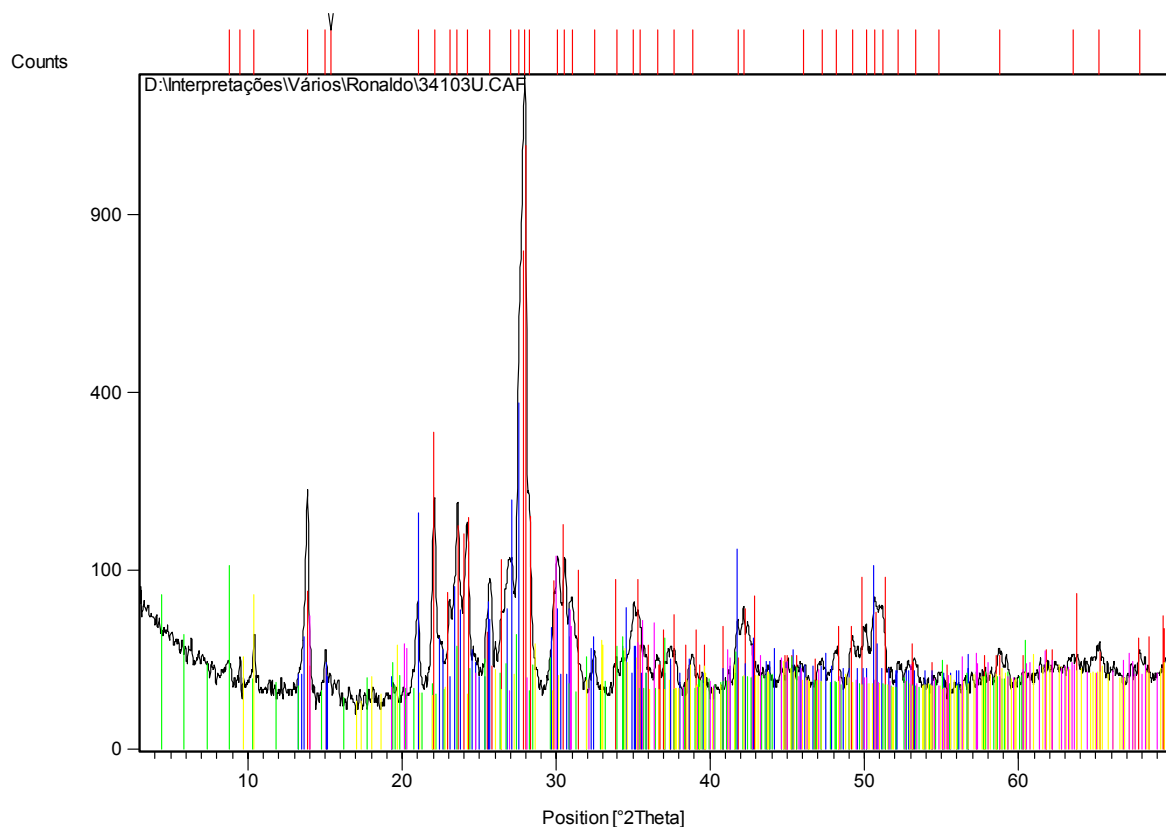


Amostra TP-85: VERDE JARARACA

Minerais Prováveis

Referência	Mineral	Fórmula
00-041-1480	Albit	( Na , Ca ) Al ( Si , Al ) <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
00-019-0932	Microclínio	K Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
01-073-1661	Biotita	K Mg <sub>3</sub> Al Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> O H F
01-077-0187	Riebeckita	Na <sub>1.38</sub> K <sub>0.13</sub> Ca <sub>0.17</sub> Mg <sub>0.25</sub> Mg <sub>2.81</sub> Fe <sub>1.66</sub> Fe <sub>0.48</sub> Al <sub>0.04</sub> Si <sub>7.94</sub> O <sub>22</sub> ( O H ) <sub>2</sub>
01-071-1066	Egirina	Na Fe ( Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> )

Difratograma de raios X

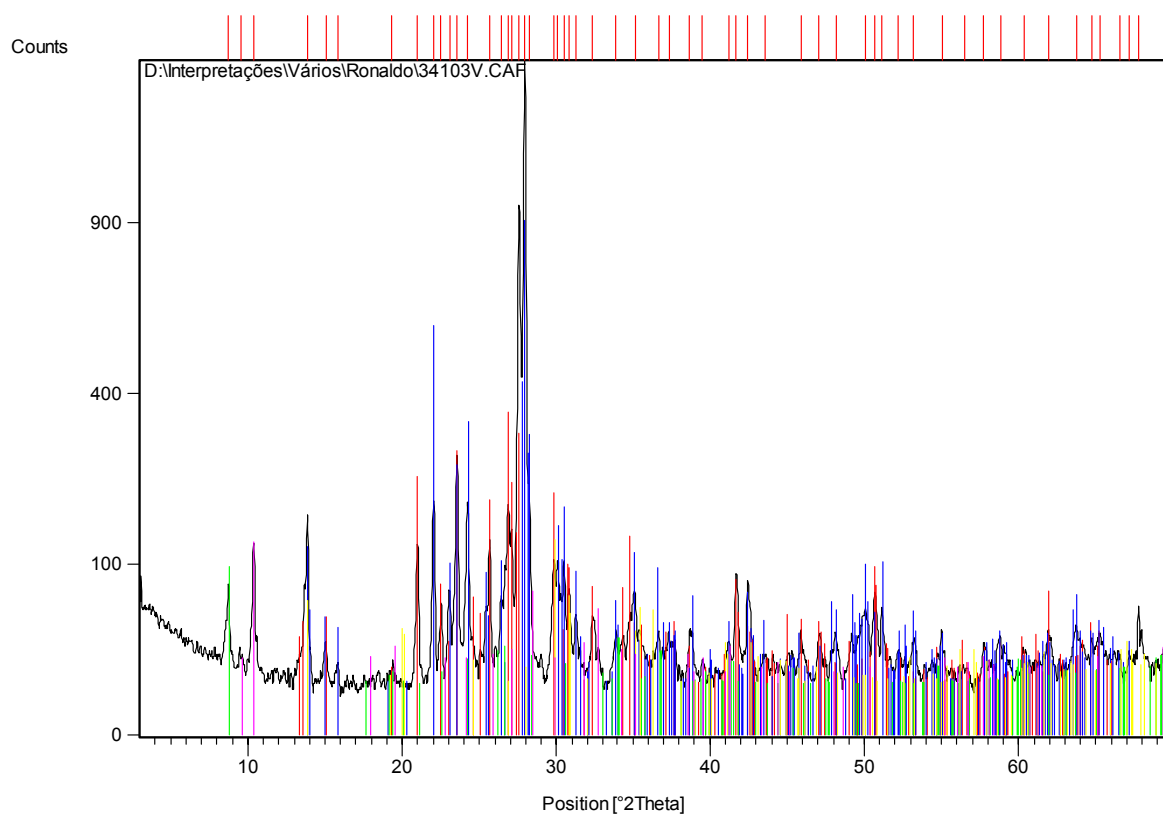


## Amostra TP-86

### Minerais Prováveis

Referência	Mineral	Fórmula
01-076-0824	Ortoclásio	( K.931 Na0.055 Ca.009 Ba.005 ) ( Al0.97 Si3.03 O8 )
01-089-6424	Albita	Na ( Al Si3 O8 )
01-088-1905	Biotita	K ( Mg1.48 Fe1.28 Ti.24 ) ( Al1.2 Si2.8 O10 ) ( O H )1.4 F.32 O.28
01-071-1066	Egirina	Na Fe ( Si2 O6 )
00-019-1061	Riebeckita	( Na , Ca )2 ( Fe , Mn )3 Fe2 ( Si , Al )8 O22 ( O H , F )2

### Difratograma de raios X



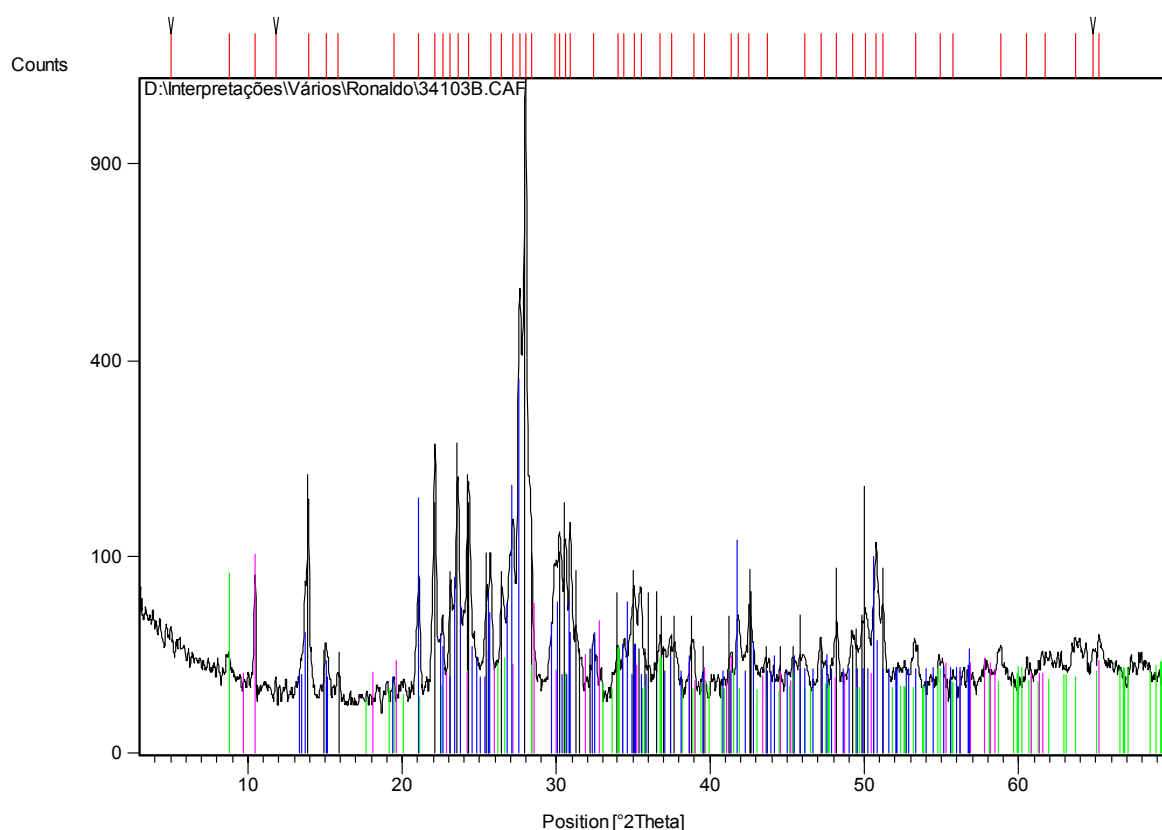
## FÁCIES VERDE MAR

### Amostra TP-7: PRATA MAR

#### Minerais Prováveis

Referência	Mineral	Fórmula
00-009-0466	Albita	Na Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
01-088-1905	Biotita	K ( Mg <sub>1.48</sub> Fe <sub>1.28</sub> Ti <sub>0.24</sub> ) ( Al <sub>1.2</sub> Si <sub>2.8</sub> O <sub>10</sub> ) ( O H ) <sub>1.4</sub> F <sub>0.32</sub> O <sub>0.28</sub>
00-019-1061	Riebeckita	( Na , Ca ) <sub>2</sub> ( Fe , Mn ) <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> ( Si , Al ) <sub>8</sub> O <sub>22</sub> ( O H , F ) <sub>2</sub>
00-019-0932	Microclínio	K Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>

#### Difratograma de raios X

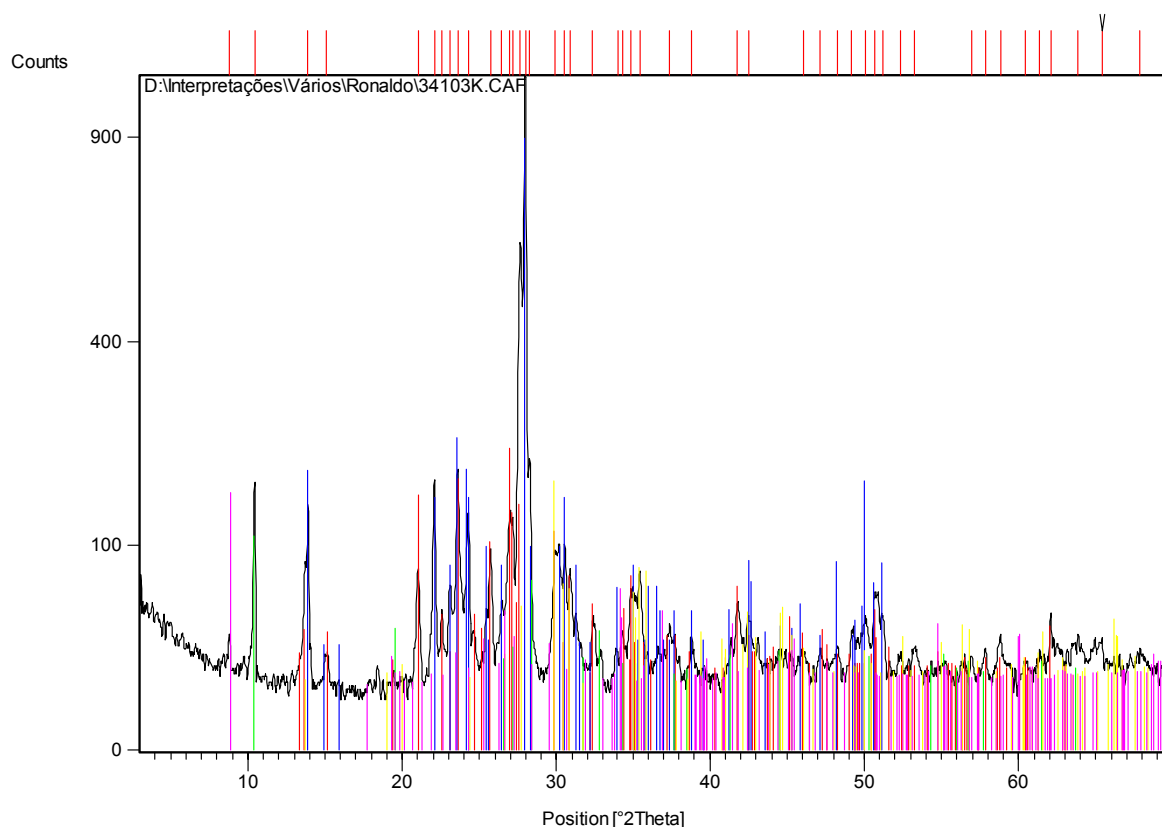


### AmostraTP-8: PRATA (Moonlight)

#### Minerais Prováveis

Referência	Mineral	Fórmula
00-019-0931	Ortoclásio	K Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
00-009-0466	Albita	Na Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
00-009-0436	Riebeckita	Na <sub>2</sub> Fe <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> ( O H ) <sub>2</sub>
01-071-0721	Augita	( Ca.818 Mg.792 Fe.183 Fe.086 Al.151 Al.269 Si1.751 ) O <sub>6</sub>
01-083-1366	Biotita	K <sub>2</sub> ( Fe2.786 Mg2.321 Ti0.550 ) ( Al2.413 Si5.587 O <sub>20</sub> ) ( O H ) <sub>4</sub>

#### Difratograma de raios X



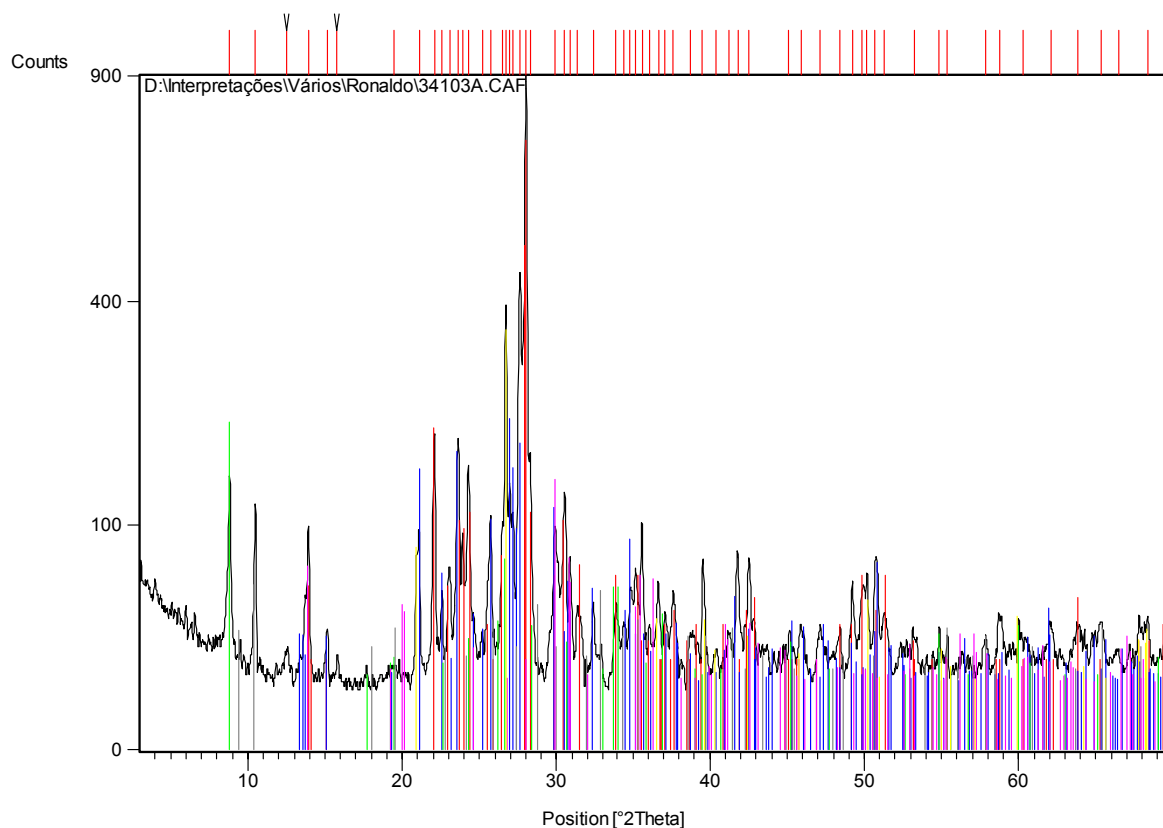
## FÁCIES BOREAL

### Amostra TP – 1: TUNAS WHITE

#### Minerais Prováveis

Referência	Mineral	Fórmula
00-041-1480	Albit	( Na , Ca ) Al ( Si , Al ) <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
01-086-0682	Sanidina	( K <sub>0.831</sub> Na <sub>0.169</sub> ) ( Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )
00-042-1414	Biotita	K ( Mg , Fe +2 ) <sub>3</sub> ( Al , Fe +3 ) Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ( O H , F ) <sub>2</sub>
00-014-0230	Riebeckita	Na <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> Fe <sub>2.5</sub> Mg <sub>0.5</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> ( O H ) <sub>2</sub>
01-071-1066	Aegirina	Na Fe ( Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> )
01-088-2487	Quartzo	Si O <sub>2</sub>

#### Difratograma de raios X

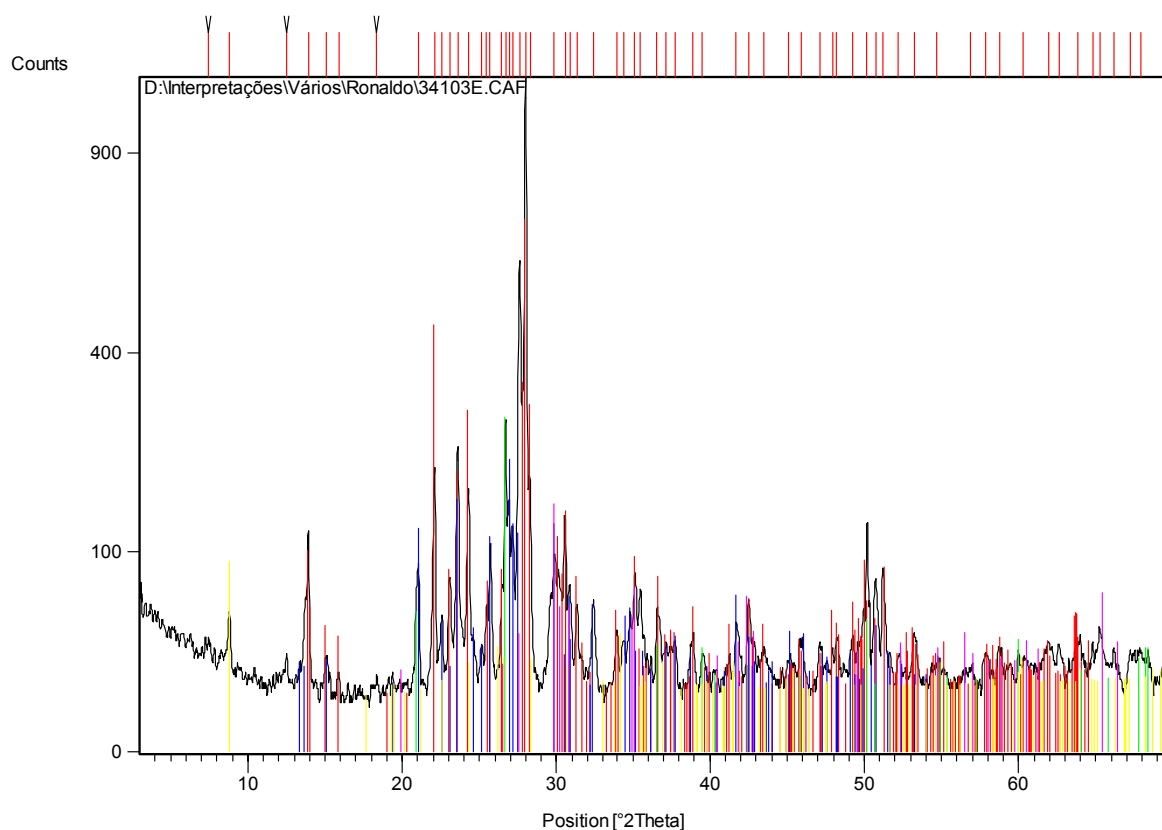


### Amostra TP-13: DAMASCO

#### Minerais Prováveis

Referência	Mineral	Fórmula
01-089-6427	Albita	Na ( Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )
00-022-1212	Ortoclásio	K Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
01-085-0795	Quartzo	Si O <sub>2</sub>
01-088-2196	Biotita	( K <sub>1.77</sub> Na <sub>0.16</sub> Ba <sub>0.07</sub> ) ( Mg <sub>2.94</sub> Fe <sub>1.8</sub> Al <sub>0.98</sub> Ti <sub>0.28</sub> ) ( Al <sub>2.72</sub> Si <sub>5.28</sub> O <sub>20</sub> ) O <sub>1.12</sub> ( O H ) <sub>2.88</sub>
00-024-0202	Augita	Ca ( Mg , Al , Fe ) Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>

#### Difratograma de raios X



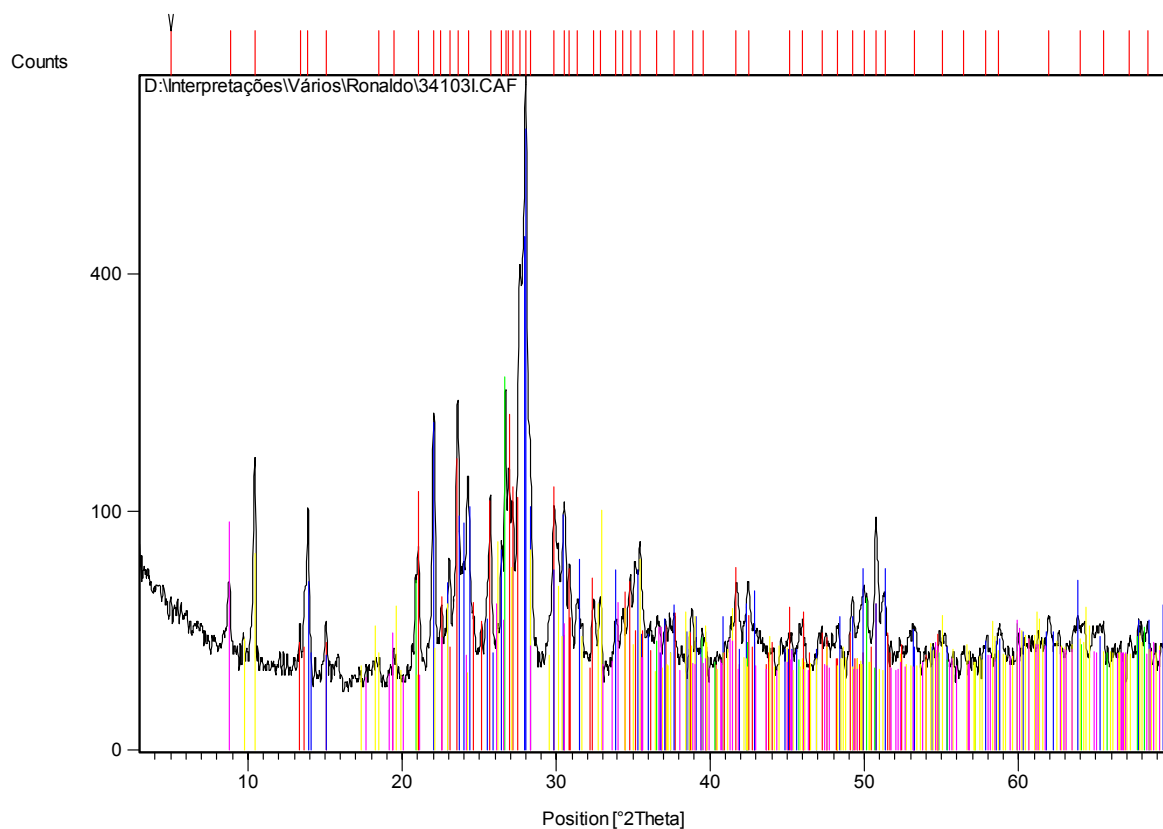


Amostra TP-49: Prata Boreal

Minerais Prováveis

Referência	Mineral	Fórmula
00-022-1212	Orthoclásio	$K Al Si_3 O_8$
00-041-1480	Albitea	$(Na, Ca) Al (Si, Al)_3 O_8$
01-078-1252	Quartzo	$Si O_2$
01-075-1670	Richterita	$Na (Na Ca) Mg_5 Si_8 O_{22} F_2$
01-080-1106	Biotita	$K Fe Mg_2 (Al Si_3 O_{10}) (OH)_2$

Difratograma de raios X

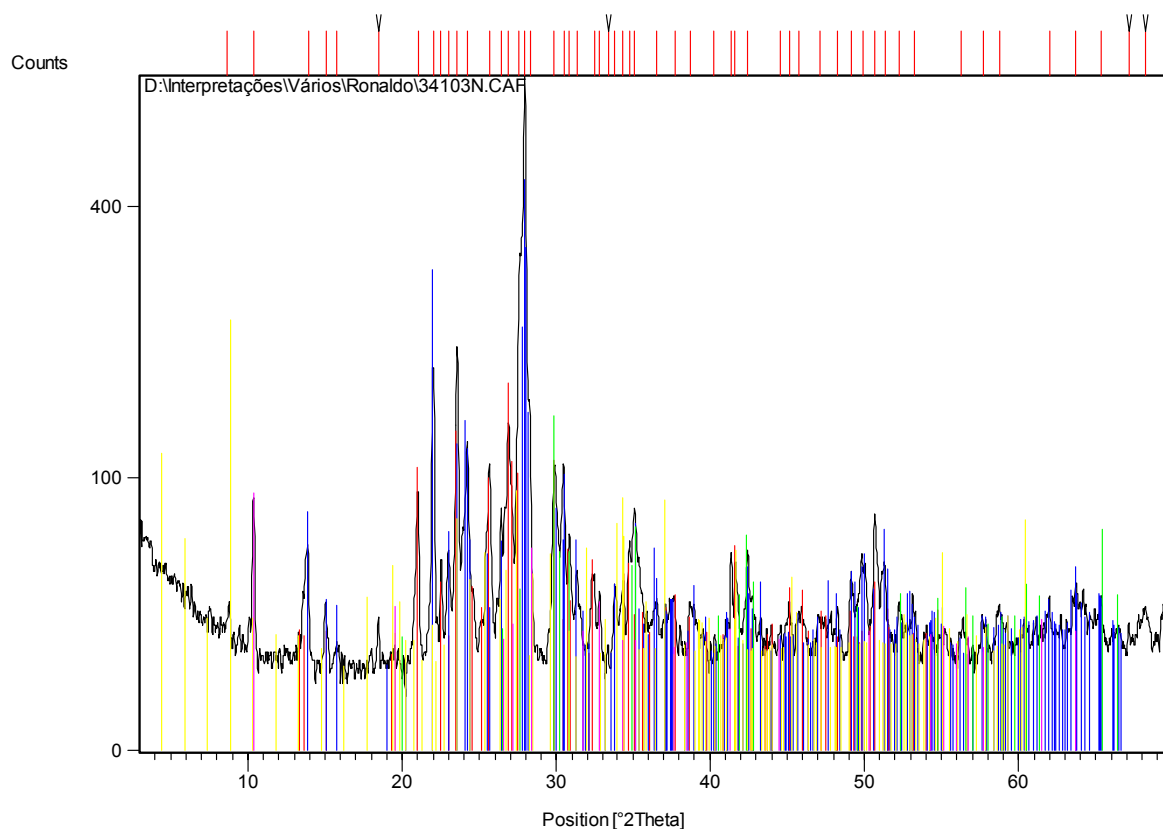


### Amostra TP-49:

#### Minerais Prováveis

Referência	Mineral	Fórmula
00-022-1212	Orthoclásio	K Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
01-089-6429	Albita	Na ( Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )
00-024-0202	Augita	Ca ( Mg , Al , Fe ) Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>
01-073-1661	Biotita	K Mg <sub>3</sub> Al Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> O H F
00-009-0436	Riebeckita	Na <sub>2</sub> Fe <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> ( O H ) <sub>2</sub>

#### Difratograma de raios X



### Amostra TP -42:

#### Minerais Prováveis

Referência	Mineral	Fórmula
01-076-0823	Orthoclásio	( K <sub>0.94</sub> Na <sub>0.06</sub> ) ( Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )
00-041-1480	Albita	( Na , Ca ) Al ( Si , Al ) <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
01-088-2376	Augita	Mg <sub>0.927</sub> Ca <sub>0.818</sub> Al <sub>0.078</sub> Fe <sub>0.069</sub> Na <sub>0.06</sub> Cr <sub>0.04</sub> Ti <sub>0.008</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>
00-009-0436	Riebeckita	Na <sub>2</sub> Fe <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> ( O H ) <sub>2</sub>
01-080-1110	Biotita	K Fe Mg <sub>2</sub> ( Al Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ) ( O H ) <sub>2</sub>

#### Difratograma de raios X

